

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
Dipartimento di Strutture

Maria Luisa Pascuzzi

**Il ruolo del calcestruzzo nella qualificazione formale
dell'involucro architettonico**

Nuovi brevetti, nuovi codici, nuovi modelli

Tesi di Dottorato in Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Sezione: Metodiche dell'Architettura e della Costruzione

Scuola Pitagora in Scienze Ingegneristiche

Ciclo XXIV (2008-2011)

S.S.D. ICAR 14 - Composizione Architettonica e Urbana

Coordinatore: Prof. Renato S. Olivito

Tutor: Prof.ssa Roberta Lucente

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
Dipartimento di Strutture

Maria Luisa Pascuzzi

**Il ruolo del calcestruzzo nella qualificazione formale
dell'involucro architettonico**
Nuovi brevetti, nuovi codici, nuovi modelli

Tesi di Dottorato in Ingegneria dei Materiali e delle Strutture
Sezione: Metodiche dell'Architettura e della Costruzione
Scuola Pitagora in Scienze Ingegneristiche
Ciclo XXIV (2008-2011)
S.S.D. ICAR 14 - Composizione Architettonica e Urbana

Coordinatore: Prof. Renato S. Olivito
Tutor: Prof.ssa Roberta Lucente

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
--------------------------	----------

I PARTE_RICOGNIZIONI.....	7
----------------------------------	----------

1. Il calcestruzzo come interprete di innovazione espressiva nel progetto dell'involucro architettonico. Orientamenti della ricerca nel XX e nel XXI secolo

La "rappresentazione" della struttura

Lo sviluppo degli involucri globali

La traccia del processo costruttivo

L'innovazione tecnologica come orizzonte espressivo nel XXI secolo

2. Un'ipotesi di matrice di lettura critica delle realizzazioni

II PARTE_TEMI	67
----------------------------	-----------

3. I calcestruzzi di ultima generazione nella declinazione di nuovi linguaggi architettonici

4. Rapporto tra miscele innovative ed esiti progettuali

I calcestruzzi fotocatalitici. Sostenibilità e "bianco splendore" delle superfici autopulenti

I calcestruzzi ad alta prestazione strutturale. La struttura come trama

I calcestruzzi autocompattanti. Forme sagomate, fluide e sinuose

I calcestruzzi rinforzati con fibre organiche. Materialità versus incorporeità

Nuove versioni del calcestruzzo a facciavista. Varietà e variazioni di finitura

III PARTE_SPERIMENTAZIONI.....	113
---------------------------------------	------------

5. Il progetto come prototipo nell'impiego dei calcestruzzi di ultima generazione per i pannelli di facciata

Il Centro Bus RATP a Thiais

Il Lille Métropole Museum of Modern Art a Villeneuve d'Ascq

Il Matsumoto Performing Arts Centre a Tokyo

6. Variabili tecnologiche/Variabili progettuali. Verso la definizione di un protocollo di metodo per la progettazione di un pannello prefabbricato di facciata

CONCLUSIONI.....167

APPARATI.....173

A1. GLOSSARIO

A2. BIBLIOGRAFIA RAGIONATA

A3. SCHEDE MATERIALI CEMENTIZI INNOVATIVI

INTRODUZIONE

L'incessante processo di trasformazione del calcestruzzo è spesso affrontato con riferimento agli aspetti afferenti alla storia delle costruzioni. Riconosciuto il carattere tecnico e strutturale del materiale con i primi brevetti e le prime brillanti intuizioni, alla sperimentazione statica si affianca, in maniera sempre più ricorrente, un'indagine di tipo formale, soprattutto a partire dal secondo dopoguerra. Messo a nudo, il materiale si mostra con evidenza espressiva e audacia fisica, in un perfetto binomio tra forma e struttura. Oggi la materia e il suo sapiente impiego, attraverso i calcestruzzi di ultima generazione, affiancano la ricerca architettonica, che amministrando con cura le conquiste e le esperienze del novecento, muove verso nuovi codici espressivi, non meno che verso nuovi orizzonti tecnici. Un'attenta analisi della produzione architettonica contemporanea restituisce l'involucro come occasione privilegiata d'indagine e sperimentazione espressiva nelle versioni più avanzate di questo materiale; alcuni progettisti, tra i più accreditati nel panorama internazionale, promuovono l'uso sperimentale del calcestruzzo ed esplorano, attraverso esso, nuove possibilità percettive per l'involucro, introducendo nel processo compositivo, di fatto, la scelta e personalizzazione della miscela al fine di ottenere un ben preciso esito formale del tutto nuovo. Pertanto il calcestruzzo di ultima generazione non è solo utilizzato in quanto materiale da costruzione dalla sempre più estese potenzialità statiche, ma anche in quanto materiale in grado, nelle sue ultime versioni, di potenziare il suo ruolo di componente attivo nella qualificazione estetica del progetto d'architettura. La prima questione a cui intende rispondere questo lavoro è dunque se oggi il calcestruzzo, attraverso i brevetti innovativi, possa considerarsi materiale generatore di nuovi codici linguistici per l'involucro e se sia possibile individuare una correlazione tra tipo di miscela ed esito espressivo, definendo nuove declinazioni attraverso cui l'involucro oggi si manifesta. La letteratura di riferimento, quando affronta il tema dell'impiego del calcestruzzo in architettura, predilige l'aspetto costruttivo e di superficie, svincolandosi difficilmente da considerazioni prettamente tecniche, ragionando sugli elementi fisici costituenti il progetto nel suo complesso. Si ragiona sì sulle estensioni formali possibili, ma mettendo insieme sia tipologie del costruito differenti (infrastrutture, musei, chiese, scuole, residenze, etc.), sia diversi componenti dell'organismo architettonico (pareti, pilastri, solai, etc.). Per rispondere alla

questione se esistono esiti progettuali codificabili univocamente per l'involucro, sono stati analizzati esempi contemporanei intrecciando i dati relativi alle scelte più squisitamente architettoniche con quelle relative ai brevetti dei calcestruzzi impiegati di caso in caso, al fine di comprendere se e in che modo le innovazioni indotte dalla miscela cementizia possono intervenire in misura ugualmente sperimentale nel progetto d'architettura, concorrendo alla definizione di eventuali nuove dimensioni percettive dell'involucro.

La trattazione, strutturata in tre parti, prevede un'iniziale **ricognizione** storica che si spinge fino ai nostri giorni, relativa al campo d'indagine che permette di riscontrare un'attenzione crescente verso l'impiego del calcestruzzo come componente qualificante il progetto già dalle prime applicazioni storiche, mettendo a fuoco il tema dell'involucro come campo di ricerca privilegiato per esplorare le qualità espressive del materiale. Un quadro cronologico, espresso attraverso una mappa critica, mette a sistema le esperienze e gli esiti progettuali rintracciati nel periodo compreso tra il XX e XXI secolo, restituendo così in forma grafica come in effetti il calcestruzzo possa essere considerato elemento di caratterizzazione formale nel progetto dell'involucro. Nella seconda parte, l'introduzione dei **temi** progettuali, centra quindi l'attenzione sui brevetti di ultima generazione, che si propongono come veicolo d'innovazione dell'involucro architettonico. La trattazione associa a ogni singola miscela cementizia, caratterizzata dalle sue particolari proprietà, potenzialità e attitudini, un esito progettuale ben definito, riconoscendo una corrispondenza biunivoca tra miscela e possibilità espressive dispiegabili. Nella terza e ultima parte, espressa nella forma di **sperimentazioni**, si mette a fuoco l'interesse sul ruolo innovativo dei calcestruzzi di ultima generazione nel progetto dell'involucro *discreto*, cioè costituito da elementi replicabili o pezzi unici (pannelli prefabbricati). Obiettivo di questa parte è sollecitare una riflessione su come, nel progetto dell'involucro *discreto* e dei suoi componenti, l'uso di calcestruzzi di ultima generazione determini un'equivalenza tra l'interesse riconosciuto alla definizione del processo creativo e quello riconosciuto alla definizione di elemento prototipico di facciata. È infatti, lo stesso processo progettuale, a partire dalla scelta della miscela, della tipologia

di cassaforma, della modalità di assemblaggio, in ragione dell'esito espressivo prefigurato, a proporsi come prototipo di metodo ancora prima di pervenire alla definizione di un possibile brevetto del componente progettato. A partire da questo assunto, dalla riflessione cioè di come gli aspetti tecnici e progettuali interagendo si coordinano rispetto a esiti formali codificati, si propone un ipotesi di metodo come protocollo da applicare in sede progettuale.

PARTE I
RICOGNIZIONI

PARTE I RICOGNIZIONI

1. Il calcestruzzo come interprete di innovazione espressiva nel progetto dell'involucro architettonico. Orientamenti della ricerca nel XX e nel XXI secolo

Primo materiale artificiale eterogeneo, il calcestruzzo, dalla fine dell'Ottocento, ha interpretato ruoli differenti, sempre mutevoli, oggetto di affinamenti tecnici e sperimentazioni formali. Dalla combinazione degli stessi componenti, cemento, inerti, acqua, acciaio per le armature e a partire da un certo momento in poi alcuni additivi, si sono ottenuti un'infinità di prodotti differenti. Non esiste una miscela identica ad un'altra; il calcestruzzo si è continuamente innovato, trasformato radicalmente nella sua composizione chimica, nelle modalità di messa in opera, nel disegno delle armature al suo interno, divenendo interprete di soluzioni costruttive sempre più audaci e originali esiti espressivi. Proiettandosi oltre il semplice aspetto tecnico, le tante mutazioni della miscela cementizia si configurano come occasioni d'innovazione sì tecnologica, ma soprattutto espressiva per la ricerca architettonica del XX secolo e per i suoi orientamenti attuali e, per l'involucro architettonico, come campo di sperimentazione e indagine privilegiato. Infatti, in seguito alle brillanti intuizioni e sperimentazione di tipo statico, a partire soprattutto dal secondo dopoguerra, si consolida una ricerca di tipo formale per l'involucro architettonico in calcestruzzo in quanto elemento di sintesi e massima espressione tra estetica e tecnica. E' proprio nell'involucro che il cemento armato, quando viene lasciato a vista dopo il disarmo, rivela la sua

forza espressiva, il suo carattere monolitico nel caso delle strutture resistenti per forma, rivelando a volte l'autenticità degli elementi portanti lavorati plasticamente, a volte la traccia della cassaforma. Il calcestruzzo lasciato a vista, il cosiddetto *beton brut*¹, appare come un materiale rude, pieno di energia, grezzo, senza più finiture superficiali che lo mascherano, esposto all'attacco degli agenti atmosferici. Le conoscenze scientifiche sulla miscela e sui comportamenti statici lanciano il materiale verso nuove forme, nuove "rappresentazioni" strutturali, guadagnando una nuova qualità espressiva per l'organismo architettonico.

Al termine del periodo bellico, il calcestruzzo mostra un nuovo volto dell'involucro architettonico; la superficie a vista con la sua sagoma, non testimonia più le fatiche del costruire, i rigidi schemi statici, ma diventa espressione del talento dell'artigiano cui si affida l'esecuzione della cassaforma e dell'intuizione del progettista che sperimenta nuove forme e trame, spingendosi oltre le possibilità del materiale. Le brillanti esperienze progettuali che animano la produzione architettonica del XX secolo, segnano il passaggio da un cemento armato grigio, opaco, rude, brutale, economico, a un cemento armato raffinato e tenace, elegante e audace. Ma è con i calcestruzzi di ultima generazione, con la ricerca del XXI secolo, che il materiale assume sembianze inattese; setoso e plastico, il calcestruzzo presenta l'involucro a volte come tessuto da trame e texture, oppure sagomato in forme fluide e sinuose, o ancora alleggerito a tal punto da smaterializzarsi in sottilissime e raffinate trine. Le nuove miscele cementizie, con gli straordinari requisiti di resistenza meccanica, con le loro ampliabili attitudini, aprono un nuovo orizzonte per la ricerca dell'involucro architettonico in calcestruzzo, lasciando oggi intravedere la possibilità di indagare nuove dimensioni percettive, nuove spazialità per l'organismo edilizio.

Di seguito si fornisce una ricostruzione dello stato dell'arte dalle prime applicazioni storiche fino ai giorni nostri allo scopo di sottolineare come il calcestruzzo sia stato e continui a essere, secondo modalità differenti, un interprete d'innovazione tecnica e/o formale per l'involucro architettonico nel XX e XXI secolo, individuando nell'espressione formale degli elementi

¹ Cfr. voce in glossario, apparato A1.

strutturali, nella monoliticità e organicità degli involucri globali, nella traccia rudimentale rilasciata dal processo costruttivo sulla superficie e nelle nuove attitudini dei brevetti di ultima generazione, categorie formali ricorrenti nell'uso del calcestruzzo come parametro di facciata qualificante. La chiave critica proposta suggerisce un'ipotesi di lettura degli indirizzi della ricerca nel progetto dell'involucro in calcestruzzo negli ultimi due secoli, uno sguardo trasversale alla storia dell'innovazione del calcestruzzo che si muove per temi ed esperienze progettuali scegliendo le più significative e ripercorrendo di volta in volta la produzione architettonica rispetto all'asse temporale di riferimento.

La “rappresentazione” della struttura

Il calcestruzzo si presenta, nell'Europa di fine Ottocento, come materiale pronto a imitare, sostituire la tradizionale tecnica della muratura, per poi da subito lasciare intravedere la possibilità di risolvere ogni vincolo statico, concedendo una libertà costruttiva e al contempo formale, che si concretizza con l'impiego del cemento armato agli inizi del XX secolo. A partire da queste origini, si assiste a un processo di alleggerimento delle ossature portanti, di disimpegno dal vincolo delle murature, che procede contestualmente ai risultati raggiunti dalla ricerca tecnologica, scardinando i rigidi schemi statici e aprendo possibilità di sbalzi consistenti, grandi luci e nuove libertà formali. Privo di forma propria, come pietra liquida, il calcestruzzo viene gettato nella cassaforma, si solidifica attorno alle armature in ferro predisposte all'interno, generando un materiale né naturale, come la pietra o il legno, né omogeneo come il mattone, il ferro, il vetro. Freyssenet definiva il cemento armato il “*triomphe de l'absurde*”², un ibrido che mette a sistema due materiali con caratteristiche di resistenza praticamente opposte, un materiale duttile, modellabile. Nervi affermava che:

“Il fatto di poter plasmare il cemento, di potergli dare ogni forma, rendendolo anche superiore alla pietra naturale per la sua capacità di resistere alle

² Cfr. Iori, Tullia, *Contraddizioni e bizzarrie del cemento armato*, in “Materia”, n. 46, gennaio-aprile 2005, pp. 32-36.

*tensioni, ha in sé qualcosa di magico”.*³

È alla fine del XIX secolo, che François Hennebique ragiona sulla combinazione di ferro e calcestruzzo, intuendo le possibilità offerte dal nuovo materiale composito trasferendole all'interno di un sistema costruttivo innovativo, capace di eliminare la soluzione di continuità tra struttura in elevazione ed orizzontamento. Nel 1892, con il suo primo brevetto depositato, Hennebique propone un sistema solidale, legato nei suoi punti di snodo e proprio per questo rafforzato nella sua coesione. Definita “sistema Hennebique”, l'ossatura a telaio, trasforma la continuità trave-pilastro, che per le strutture in ferro o in legno rappresentava un punto di fragilità, in elemento rafforzato di coesione.⁴ Scheletro e monolite al tempo stesso, il sistema a telaio, cemento armato con barre di ferro all'interno, diviene da subito la modalità più idonea per coprire ampie luci e garantire una maggiore resistenza, rendendo possibile la sperimentazione di nuove spazialità. L'inserimento del telaio, assieme alla continua evoluzione e conoscenza tecnica della miscela cementizia, contamina il sistema architravato e voltato, scardina il tradizionale sistema della modanatura dalla parete muraria e ne autorizza, in un certo senso, la manipolazione in una chiave essenzialmente figurativa.⁵

Gli esiti della riflessione scientifica e delle conoscenze conquistate in merito alla resistenza meccanica del cemento armato si traspongono nella realtà fisica della produzione architettonica, generando procedimenti costruttivi innovativi che mutano radicalmente i sistemi tradizionali delle costruzioni a gravità, aprendo nuovi orizzonti verso un lavoro plastico, espressivo che investe anche i componenti costituenti l'organismo architettonico dell'involucro, verso una concezione rinnovata della forma e dello spazio. E così ha inizio un lavoro di ricerca, di indagine, che vede nella “forza” fisica del calcestruzzo una nuova possibilità espressiva per l'involucro. Frank Lloyd Wright ricodifica il concetto di muratura in blocchi; Auguste Perret rivela il sistema a telaio, l'ossatura

³ Nervi, Pier Luigi, “Pensare la statica attraverso la forma”, in *Costruire correttamente*, Milano, Hoepli, 1965, p. 17.

⁴ Cfr. Collins, Peter, *Concrete: the vision of a new architecture*, McGill-Queen's Press - MQUP, 2004, p. 68.

⁵ Cfr. Poretti, Sergio, *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Roma, Gangemi Editore, 2008, p. 11.

portante come parametro compositivo e spaziale; Pier Luigi Nervi reinterpreta l'immagine espressiva degli elementi portanti in una chiave del tutto nuova. Queste alcune delle esperienze più significative che restituiscono un nuovo ruolo agli elementi portanti costituenti l'involucro. Sono riconoscibili, a questo punto, per la loro forte singolarità e identità, nuovi atteggiamenti progettuali che superano la consolidata rigidità geometrica della tradizione tettonica. La struttura portante, sia essa composta da blocchi di calcestruzzo o da elementi costituenti l'ossatura a telaio, si "rappresenta", si declina, espone chiaramente la propria carica espressiva, ponendo le basi per sperimentazioni e indagini successive.

Frank Lloyd Wright si accorge istintivamente che le qualità meccaniche della miscela cementizia liberano la materia, che il duttile calcestruzzo, opportunamente confezionato in blocchi, poteva aprire lo spazio interno verso l'interno, alleggerire, svuotando, la massa anche negli spigoli, orientandosi così verso un cambiamento che cancellava automaticamente la severità delle pareti in muratura a favore di una "scrittura tettonica"⁶, una sorta di linguaggio critico che prendeva la forma di una trama fatta di pietra, rispetto alla quale i muri erano tanto scritti, intessuti quanto costruiti. Nel 1929, Wright descrive la sua invenzione del blocco a trama tessile, *textile block*, nel suo manifesto pubblicato su "Architectural Record":

"Finalmente avevo trovato mezzi meccanici semplici per produrre un edificio completo che appare così come lo ha fatto la macchina, almeno nello stesso modo in cui qualsiasi tessuto deve apparire tale. Solido, leggero, ma non esile; indistruttibile; plastico; nessuna inutile menzogna attorno ad esso in nessun punto, eppure fatto a macchina, perfetto dal punto di vista meccanico. Qui è possibile vedere per la prima volta la standardizzazione quale anima della macchina posta nelle mani dell'architetto, offerta lealmente

⁶ Frampton, Kenneth, *Tettonica e architettura. Poetica della forma architettonica nel XIX e XX secolo*, Skira, 2002, p. 122.



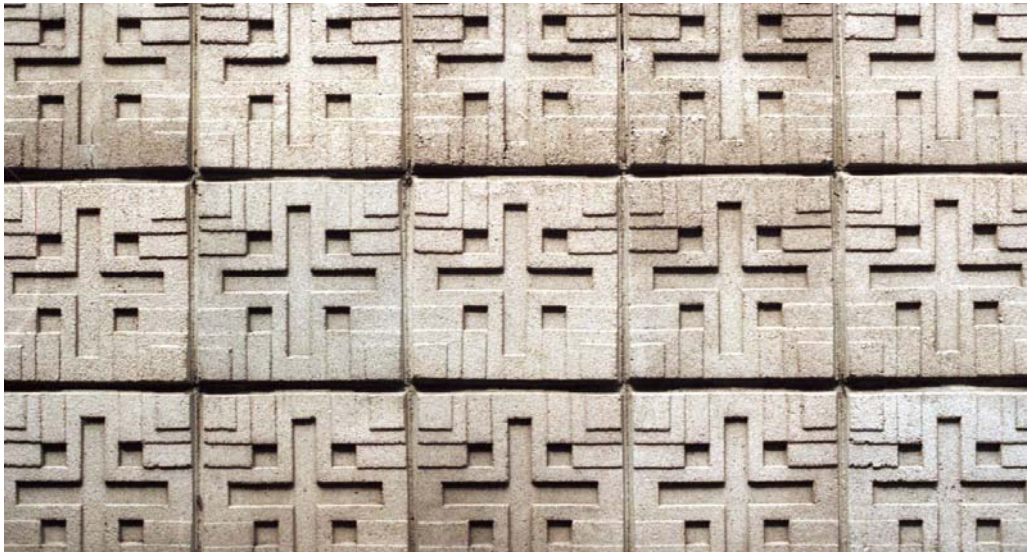
1. “La Miniatura”, Wright, Pasadena, 1923

all’immaginazione, dove i limiti dell’immaginazione costituiscono l’unico limite del costruire”⁷

Già il nome *textile block* suggerisce la particolarità del sistema costruttivo innovativo proposto da Wright rispetto all’apparecchiatura muraria tradizionale e la volontà di indagare le qualità plastiche del calcestruzzo.⁸ Il sistema prevede la realizzazione di una parete intelaiata, molto simile alla attuale muratura armata, che, per la sua relativa sottigliezza, si configura come una membrana intessuta che tutto avvolge. Wright si riferisce a se stesso come “il tessitore” e il “tessuto murario” assume un’assoluta predominanza nella concezione dell’edificio, occultando del tutto gli orizzontamenti; tutti gli elementi costituenti la parete - lesene, architravi, imbotti e davanzali - si assorbono nel tessuto decorativo e sono trattati come asole o ricami. I blocchi del calcestruzzo, di dimensioni tali da ottimizzare peso e rapidità esecutiva,

⁷ Wright, Frank Lloyd, in Rebori, Andrew N, *Frank Lloyd Wright’s textile-block slab construction*, Architectural Record, n. 62, dicembre 1927, pp. 448-456.

⁸ Cfr. Ford, Edward R., *Frank Lloyd Wright e le Textile Block House*, in “Detail. Costruire con il cemento”, n. 4, EDITORE Detail, 2003, pp. 310-315.



2. Particolare *textile block*, “La Miniatura”, Wright

sono dotati di una scanalatura semicircolare che corre lungo i quattro spigoli. Questa è disegnata per ricevere sottili barre orizzontali e verticali d'acciaio, da correlare con malta fluida. Le barre d'acciaio sono corrugate e hanno sezione di 6 mm^2 . La malta è in proporzione 1:3 tra cemento e sabbia. I blocchi sono disposti a formare due fodere parallele, distanziate da un'intercapedine e connesse mediante ancoraggi correlati con le rispettive intelaiature di acciaio. Un cordolo di collegamento chiude la parete nella parte alta, costituendo un piano di posa per le travi di copertura. Tranne che per la prima casa, in cui Wright realizza i blocchi servendosi di casseforme in legno, i *textile blocks* vengono sempre prodotti con stampi di alluminio, nei quali è gettata una miscela in calcestruzzo asciutta e compatta.⁹ I blocchi sono poi trattati con acqua per dieci giorni prima del montaggio. In alcuni casi, Wright tenta di introdurre granito locale sbriciolato nella miscela quasi allo scopo di fondere l'elemento naturale con il prodotto artificiale, tuttavia questa soluzione si rivela

⁹ Cfr. Ferrero, Marco, *Architettura e tecnica delle murature in blocchi di calcestruzzo*, Roma, Aracne, 2003, pp. 21-25.

poco favorevole per la durevolezza della costruzione.¹⁰

La verifica del potenziale insito nel sistema a blocchi non ebbe luogo fino alla realizzazione dell'opera fondamentale, “**La Miniatura**” di Alice Millard, costruita a Pasadena nel 1923, in quanto il progetto della casa a blocchi prefabbricata per Harry e. Browne del 1906 non venne realizzato impiegando questo sistema costruttivo.

“Noi vorremmo tirare fuori questo disprezzato reietto dell’industria edilizia – il blocco di calcestruzzo – trovare in esso un’anima finora insospettata – renderlo vivo come un oggetto di bellezza – strutturato a trama come gli alberi. Sì, l’edificio sarebbe fatto di blocchi come una sorta di albero che si trova a suo agio fra gli altri alberi nella sua terra natia. Tutto quello che dovremmo fare sarebbe educare il blocco in calcestruzzo, raffinarlo e tenerlo unito con l’acciaio nei giunti, e fare i giunti in modo che essi possano essere gettati pieni di cemento, dopo essere stati predisposti con un filo di acciaio inserito. I muri diventerebbero allora lastre sottili, ma solidamente rinforzate, e acconsentirebbero a qualsiasi desiderio immaginabile di forma. E una manodopera specializzata potrebbe fare tutto questo. Noi faremmo naturalmente dei muri doppi, un muro che affaccia verso l’interno e l’altro verso l’esterno, ottenendo così spazi vuoti continui fra i due, in modo tale che la casa sarebbe fresca d’estate, calda d’inverno e asciutta quasi sempre”¹¹

Con le sue aperture decorate, traforate e vetrate, “La Miniatura” incarna il concetto di plasticità sperimentata attraverso un impiego innovativo del blocco di calcestruzzo e già la sintassi essenziale del sistema che sarebbe stato impiegato, con leggere variazioni, in ognuna delle sue successive case a blocchi. Le *Textile Block House* sanciscono un nuovo principio tanto costruttivo quanto ideologico e creativo, come modello ideale di standardizzazione dell’involucro architettonico in muratura; un involucro intessuto che rivela la sua forza espressiva, che si qualifica nel blocco di calcestruzzo, elemento portante che lo compone.

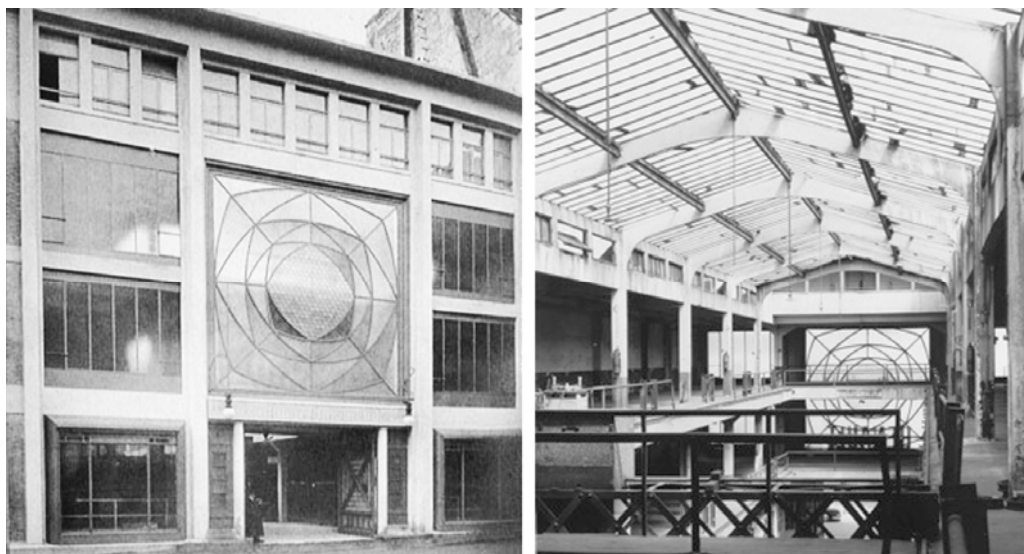
¹⁰ Cfr. Chusid, Jeffrey M., *La scoperta Americana del cemento*, in “Rassegna”, n. 49, marzo 1992, p. 72.

¹¹ Wright, Frank Lloyd, *Frank Lloyd Wright: Writings and Buildings*, New American Library, 1974, pp. 215-216.

L'attività progettuale di Auguste Perret privilegia la struttura a scheletro in calcestruzzo armato che può assumere ruoli diversi, ora proiettandosi all'esterno dell'edificio con un sistema di piedritti e di travi, un colonnato o un portico, facendo dell'elemento portante strumento di caratterizzazione formale dell'involucro; ora qualificando lo spazio interno racchiuso da esili pareti. Nella **casa in rue Franklin** a Parigi, realizzata tra il 1903 e il 1904, si annuncia la potenzialità del nuovo materiale e del sistema Hennebique, dimostrando le immense possibilità offerte da una tecnica che quasi azzera i vincoli della muratura portante con esili pilastri, ampie aperture, snellezza costruttiva e flessibilità di pianta, mostrando con chiarezza il funzionamento della struttura in facciata rivestita in listelli lisci di ceramica, diversamente dai pannelli di tamponamento caratterizzati da motivi delicatamente floreali. Nel 1906 Perret abbandona il rivestimento e sperimenta nel **garage in rue de Ponthieu** a Parigi la struttura in cemento armato lasciata a faccia vista: è al ritmo delle travi e dei pilastri che è lasciato ogni intento formale. Da qui un alternarsi nei prospetti di campiture piccole e grandi, in una composizione che vagamente assomiglia a un quadro astratto. A proposito della facciata del garage in rue de Ponthieu Peter Collins afferma: *“la spaziatura più ampia della campata centrale, il forte oggetto degli elementi verticali portanti, il ritmo accelerato dell'ultimo piano di coronamento e le variazioni in altezza delle travi, sono tutti elementi introdotti o sfruttati come deliberati accorgimenti estetici per creare proporzioni contrastanti di un valore emozionale calcolato...”*¹²

Nel **Musée des Travaux Publics** (Parigi, 1936-1948) Perret colloca i piedritti perimetrali all'esterno dell'edificio lavorando la sezione dell'elemento portante: rastrema il fusto della colonna verso il basso secondo la logica del calcolo strutturale di un portale in calcestruzzo armato con basi deliberatamente articolate e nel quale i momenti di flessione raggiungono valori massimi alla sommità dei piedritti, all'incastro con la trave, dove aumenta il numero di tondini dell'armatura metallica, trasgredendo così, al tempo stesso, una legge fondamentale dell'idea di stabilità che vede le colonne più sottili in alto che in basso. La ricerca di articolazione plastica dei singoli

¹² Collins, Peter, *op. cit.*, p. 186; trad. it. cit. pp. 164-165.



3. Garage in rue de Ponthieu, Perret, Parigi, 1906

elementi architettonici in calcestruzzo trova, nel Musée des Travaux Publics, la massima espressione, dove Perret risolve l'architettura in un montaggio coordinato di elementi della struttura producendo raffinati rapporti di linee e di piani, di colori. Pilastrini, colonne, lastre di tamponamento e cornici non sono mai complanari tra loro e il differente spessore delle loro sezioni, calcolatamente diversificato nelle varie parti della composizione, crea un gioco di ombre nette che sottolinea il valore formale degli spigoli.¹³

L'atteggiamento di rivelare, proiettando, la matrice strutturale all'esterno dell'edificio, è rintracciabile nell'esperienza progettuale di Pier Luigi Nervi, che privilegia nelle sue opere il valore portante degli elementi costituenti l'involucro; i vincoli statici diventano strumenti qualitativi del progetto, elementi espressivi dell'attività, nella convinzione che modellando plasticamente le strutture secondo le forze che agiscono nello spazio, non possono che ottenersi forme armoniche ed espressive. Nervi propone una

¹³ Cfr. Gargiani, Roberto, *Auguste Perret 1874-1954. Teoria e opere*, Milano, Electa, 1993, p. 118.



4. Musée des Travaux Publics, Perret, Parigi, 1936-1948

ricerca estetica dell'organismo strutturale in cui gli sviluppi delle tecniche del calcestruzzo consentono di concentrare gli sforzi, riducendo le sezioni resistenti, diradando la materia, mettendo in mostra ciò che è nascosto, sottomettendo alla dialettica visiva ciò che prima era oggetto di valutazioni propriamente tecniche. Sfruttando in modo completo il potenziale plastico del calcestruzzo e plasmandolo a espressioni fino ad allora sconosciute, Nervi rivela il sistema portante come elemento formale, come strumento linguistico, rifiutando trame geometriche neutre, regolari e iterative tipiche invece della costruzione metallica e della prefabbricazione industriale in genere.¹⁴ Nelle sue prime opere i sostegni, come in certe opere di Gaudí, appaiono inclinati per raccogliere insieme al peso la spinta delle strutture voltate, e la loro forma comincia subito a mimare plasticamente ciò che avviene all'interno della materia cambiando di sezione man mano che si distaccano da terra. Il cambiamento di sezione diventa gradualmente uno degli strumenti in cui si realizza la vocazione plastica e scultorea del maestro. Come nel corpo umano

¹⁴ Cfr. Nervi, Pier Luigi jr e Postano, Giuseppe, *Pier Luigi Nervi*, Serie di Architettura 5, a cura di Paolo Desideri, Zanichelli, 1979, pp. 6-12.



5. Palazzetto dello Sport, Nervi, Roma, 1956

ogni parte si plasma attraverso l'ossatura, la muscolatura e la pelle, così in opere come la sede per le Esposizioni a Torino, il Palazzo dello Sport, il viadotto del Villaggio Olimpico, lo Stadio Flaminio, il palazzo del Lavoro a Torino, si assiste a una interpretazione della struttura in cui si rievocano gli organismi viventi in movimento, le morfologie dei tendini delle ossa delle superfici curvilinee di relazione tra le parti. Per i pilastri del viadotto di Corso Francia (1958-60, Roma), ad esempio, si presenta il problema di dar forma alla colonna verticale, che Nervi risolve offrendo una versione innovatrice della classica rastremazione; con la struttura cruciforme, plasmata dalle superfici rigate, Nervi mette in opera un processo di metamorfosi che dalla sagoma cruciforme della base arriva in alto alla sezione rettangolare su cui poggiano le grandi travi trasversali.¹⁵ Nel Palazzo del Lavoro (1961, Torino), invece, Nervi si cimenta con il sistema templare dell'architettura greca, erigendo pilastri alti venti metri in cui si passa dalla base cruciforme alla sommità circolare sulla quale poggia un particolare capitello che diventa piastra formando una delle

¹⁵ Cfr. Nervi, Pier Luigi jr e Postano, Giuseppe, *op. cit.*, pp. 98-103.



6. Dettaglio dei cavalletti del Palazzetto dello Sport, Roma

sedici parti staccate della copertura¹⁶; la struttura a fungo, già sperimentata nella sala dello Stabilimento Kursaal a Ostia Lido (1950)¹⁷, attinge a una monumentalità inedita attraverso questa profonda riflessione sul ruolo mutevole di colonna capitello, trave, copertura. Ma sono i cavalletti che sorreggono la grande cupola del **Palazzetto dello Sport di Roma** (1960), che appaiono come “stilizzati atleti impegnati a contrastare, a braccia allargate, con una gamba tesa e l'altra piegata, la spinta della gonfia cupola dai bordi festonati”¹⁸ a restituire all'involucro valore formale rivelando il sistema portante come strumento linguistico. Ricerca plastica e formale, questa, che continua con il pilastro tetrapode dell'Ambasciata d'Italia a Brasilia (1969), una delle ultime opere disegnate da Nervi insieme al figlio maggiore Antonio; qui l'elemento portante si identifica con una forma compiuta, un volume ben definito: una geometria doppia e simmetria, unico, non iterabile, un supporto

¹⁶ *Ibid.*, pp. 110-119.

¹⁷ Cfr. Mornati, Stefania, *Lo stabilimento balneare Kursaal di Lapadula e Nervi*, Mancosu Editore, 2007.

¹⁸ Iori, Tullia, “I pilastri di Nervi. Ambasciata d'Italia a Brasilia”, in *Le Forme del cemento. Plasticità*, a cura di Carmen Andriani, Roma, Gangemi Editore, 2008, p. 66.



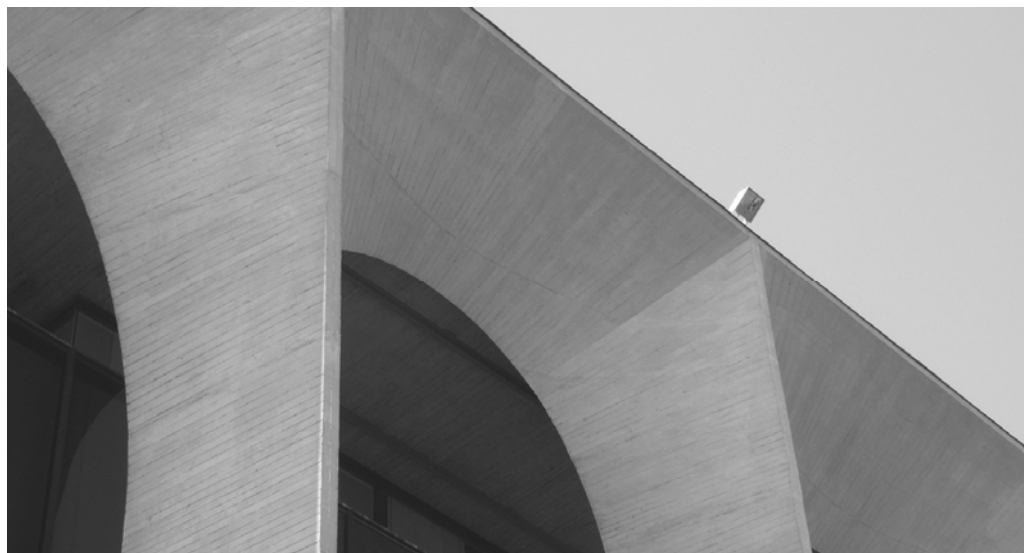
7. Palazzo Mondadori, Niemeyer, Segrate, 1975

che si trasfigura attraverso l'energia strutturale del cemento armato e l'espressività della faccia a vista. Così con Nervi, partendo da un'attenzione alle potenzialità meccaniche del calcestruzzo, si esplora, in seconda istanza, il valore formale degli elementi portanti costituenti l'involucro, considerando il pilastro elemento qualificante il progetto, come accade del resto anche nelle sue opere infrastrutturali precedentemente citate.

Nei primi anni settanta, alle porte di Milano, l'architetto brasiliano Oscar Niemeyer nel **Palazzo Mondadori** di Segrate (1968-1975), realizza un sistema strutturale originale e audace scandito da una sequenza di archi parabolici uno diverso dall'altro che modellano la struttura portante, alla quale è appeso l'intero telaio metallico che articola lo spazio interno degli uffici.¹⁹ Una struttura altrettanto complessa contraddistingue la **sede FATA**²⁰ di Pianezza (1976-79), edificio anch'esso di grande interesse ed originalità sia formale sia costruttiva. L'immagine che contrassegna l'edificio coincide con il prospetto

¹⁹ Cfr. Dulio, Roberto, *Oscar Niemeyer e la sede Mondadori a Segrate*, in "Casabella", n. 753, marzo 2007, pp. 50-75.

²⁰ Acronimo di "Fabbrica Automazione Trasporti e Affini".



8. Dettaglio di un arco parabolico del Palazzo Mondatori, Segrate

principale simmetrico, composto da un lungo fronte ritagliato da archi ampi e piuttosto ribassati, tutti con ugual profilo. Negli archi alcuni piedritti si interrompono in corrispondenza del solaio in quota, altri, invece, scaricano il peso al suolo. La struttura in cemento armato e precompresso, consente di realizzare due sbalzi laterali considerevoli di ben 21,30 metri; le grandi travi principali in precompresso, disposte parallelamente al fronte lungo, sostengono il peso dei solai prefabbricati appesi attraverso un originale sistema di tiranti.²¹ A proposito della FATA Niemeyer osserva che:

“Il cemento è il nostro materiale preferito: flessibile, generoso, adatto a ogni fantasia. Per esprimere queste possibilità l’architettura dovrà essere varia, differente, imprevedibile. Mai ripetitiva, fredda e rigida come le strutture in ferro o in legno. A questo scopo, senza pregiudizi elaboriamo i nostri progetti fatti di curve e di rette, ricercando l’invenzione architettonica che è per noi l’architettura stessa. Acquisiti questi principi i tecnici del cemento armato

²¹ Cfr. Styliane, Philippou, *Oscar Niemeyer. Curves of irreverence*, New Haven London, Yale University Press, 2008, pp. 348-349.

collaborano con noi con entusiasmo. Le loro strutture non sono costituite soltanto di pilastri e solai inseriti nell'architettura come un fatto indipendente. Tecnica e architettura sono per noi la sintesi necessaria, due momenti che nascono insieme e insieme si completano."²²

Lo sviluppo degli involucri globali

Una delle caratteristiche più peculiari del cemento armato è la plasmabilità, la sua natura di "pietra fusa" per riprendere la suggestiva definizione di Nervi. Difatti la capacità di dar vita a forme continue e monolitiche è la prerogativa che più contraddistingue il cemento armato da altri materiali; ed è da questo che deriva la sua versatilità. La plasmabilità è il principio base delle volte sottili, tema che rilancia le grandi strutture in cemento armato nel secondo dopoguerra assieme alla precompressione e muove la ricerca dell'involucro architettonico in calcestruzzo verso forme continue, monolitiche e modellabili secondo i principi dell'ottimizzazione strutturale, sfruttando la resistenza per forma di solette compresse, che la modalità a getto in cemento armato ha permesso concretamente di attuare. L'involucro definito attraverso lo studio delle forme organiche e continue come matrice originaria e al contempo obiettivo del disegno strutturale, si consolida tra gli anni Quaranta e Sessanta del Novecento, quando prenderanno avvio le ricerche progettuali di personaggi autorevoli, ingegneri-costruttori da Edoardo Torroja, Felix Candela con la sperimentazione di geometrie non euclidee, fino a Oscar Niemeyer e Eero Saarinen con le forme organiche strutturali. Si apre così un nuovo orizzonte per la ricerca architettonica dell'involucro in calcestruzzo fatto di sagome continue, monolitiche e complesse, stimolante alternativa al sistema ortogonalmente rigido del tradizionale sistema a telaio.

È a partire dagli anni Trenta che si avvia il processo di sperimentazioni verso strutture uniche, a guscio, in calcestruzzo armato senza appoggi intermedi, di dimensioni particolarmente grandi che apre un patrimonio di forme possibili di

²² Niemeyer, Oscar, *Le Forme del cemento. Plasticità*, a cura di Carmen Andriani, cit., pp. 81-82.

smisurata complessità. La grande forza espressiva e compositiva degli elementi bidimensionali viene sperimentata nel 1939 da Maillart, che realizza la **Zementhalle**, un guscio a botte alto dodici metri di soli 6cm di spessore.²³ Questa è una tappa fondamentale sia dal punto di vista ingegneristico che architettonico, in quanto, fino ad allora, il cemento armato era stato usato come un materiale tradizionale con una rigida gerarchia pilastro-trave-solaio. È proprio Maillart il primo a rimproverare a Hennebique di aver ridotto il nuovo materiale a mero sostituto economico del legno o del ferro, rivendicando al contrario per esso la libertà di forme che nel passato era stata, a suo modo, della ghisa, materia fusa colabile in stampi.²⁴ Difatti se la cultura architettonica di inizio secolo impone l'ortogonalità rigorosa del sistema trave-pilastro-solaio, il mondo degli ingegneri rifiuta il sistema monolitico del telaio, a favore di sagome curvilinee, forme morbide, geometrie complesse, rese possibili dalla plasmabilità propria del calcestruzzo. Ed è così che mentre il sistema a telaio di Hennebique si afferma come modalità costruttiva simbolo dell'architettura moderna per le qualità sintetizzate dal celebre prototipo Dom-Ino di Le Corbusier, parallelamente, a partire dell'esperienza progettuale di Dischinger e Finsterwalder si avvia la sperimentazione sulle volte di spessore sottile attraverso il sistema Zeiss-Dywidag che sfrutta le potenzialità del cemento armato in un modo così innovativo e razionale da avviare una linea di ricerca del tutto originale che coinvolgerà figure di spicco dell'ingegneria mondiale quali Eduardo Torroja, Anton Tedesko, lo stesso Maillart, Bernard Laffaille, Pier Luigi Nervi, e poi nel dopoguerra Felix Candela, Heinz Isler e molti altri ancora.²⁵ Si introduce il concetto di superficie portante, come nelle cisterne di Monier per usi agricoli, ottenendo così un elemento portante tridimensionale capace di coprire vaste aree con uno spessore minimo: 5-8cm per 40-50m di portata²⁶, lo stesso "*rapporto tra spessore e larghezza del guscio dell'uovo*"²⁷.

²³ Cfr. AA.VV, *Atlante del Cemento*, collana "Grande Atlante di Architettura", Utet, 1998, p. 30.

²⁴ Cfr. Iori, Tullia, *Contraddizioni e bizzarrie del cemento armato*, in "Materia", n. 46, cit., pp. 32-36.

²⁵ Cfr. Iori, Tullia, *Gusci sottili di cemento armato*, in "Area", n. 57, Motta Editore, 2001, pp. 16-23.

²⁶ Cfr. AA.VV, *Atlante del Cemento*, collana "Grande Atlante di Architettura", cit., p. 14.

²⁷ Panayotis A., Michelis, *Estetica del cemento armato* (1963), tr. it. Vitali e Ghianda, Genova, 1968, p. 77.

È a seguito di queste prime riflessioni e sperimentazioni sull'impiego del cemento armato di inizio secolo che l'attenzione della ricerca architettonica si focalizza verso nuovi codici espressivi che spingono le potenzialità del materiale permettendo di liberare l'immaginazione e di realizzare forme fino ad ora solo teorizzate. Così, tra la fine dei Quaranta e i primissimi anni Sessanta del Novecento, si assiste a una stagione eccezionalmente feconda per l'espressività delle grandi opere strutturali, e i grandi involucri resistenti per forma si configurano nel panorama dell'architettura internazionale come fenomeno tanto complesso quanto appariscente. Coperture laminari curve, gusci, superfici a sella e paraboloidi iperbolici, si ipotizzano su carta e si mettono in pratica con ardite elaborazioni e brillanti intuizioni. Gli sperimentatori della nuova tecnica si troveranno per primi a dover affrontare, nella costruzione dei grandi involucri, i problemi posti dall'uso di un materiale che non consente il passaggio della luce naturale e da una tipologia strutturale, quella a membrana, che esige la continuità della lamina. Si affermano due modalità di portare la luce naturale all'interno del grande involucro senza alterare gli equilibri statici: traforare la superficie, seguendo le complesse giaciture dettate dal regime tensionale interno, oppure sollevarne notevolmente i bordi ed, eventualmente, ispessirli.

Nel **Mercato di Algeciras** di Eduardo Torroja costruito nel 1933:

“La calotta sferica di 47,6 metri di luce appoggia direttamente su otto supporti, collegati fra loro da un anello poligonale post-teso. Gli spioventi della volta, fra supporti adiacenti, vengono tagliati da lunette formate da volte cilindriche perimetrali ribassate. Queste costituiscono le protezioni delle porte e, nel contempo, irrigidiscono la cupola ed incanalano i fasci di isostatiche verso i supporti.”²⁸

Così risulta brillantemente risolto il tema del bordo della membrana, in cui le spinte derivanti dal teorico taglio sono bilanciate dagli 8 aggetti a forma di unghia; questa particolare conformazione della fascia perimetrale della copertura rende impossibile far penetrare nell'edificio la luce dalle pareti

²⁸ Torroja, Eduardo, *La concezione strutturale*, Milano, Città Studi, 1995, pp. 138-139.

verticali e lo obbliga a optare per la luce zenitale; nasce quindi un grande lucernario centrale, anch'esso in calcestruzzo armato, di forma ottagonale, dotato di un fitto disegno di aste complanari con il guscio, che formano, a loro volta, un reticolo di maglie triangolari.²⁹ La luce piove dall'alto, filtrata dalla ricca trama di questo reticolo; così Torroja recupera la capacità di disegnare lo spazio attraverso la luce che era propria delle costruzioni in ferro e vetro e disegna all'interno della sala un prezioso ricamo di luci e ombre.

Forse ancora più significativo è il progetto della luce nel **Frontón Recoletos** di Madrid del 1935, sala per il gioco della pelota basca, progettato con l'architetto S. Zuazo. La copertura in calcestruzzo armato di questo edificio *“formata da due lobuli longitudinali, copriva i 55 metri della sala scaricandosi principalmente sui muri frontali, e solo in misura molto ridotta su quelli laterali. La forma e l'orientamento dei lobuli rispondevano a motivi funzionali di illuminazione, legati all'utilizzazione della superficie interna”*³⁰. Un progetto che parte proprio dall'utilizzo della luce naturale, come racconta lo stesso Torroja e che estremizza la sperimentazione strutturale rispetto al Mercato di Algeciras: la lamina di calcestruzzo, già sottilissima, si smaterializza ulteriormente, attraverso bucatore ordite secondo l'accostamento di piccoli triangoli, in maniera da formare due losanghe traforate che orientano la luce naturale all'interno del grande vaso secondo le necessità funzionali del gioco e dello spettacolo. Il contributo di Torroja si esplica soprattutto nell'ostinata convinzione che le strutture vadano capite piuttosto che calcolate: da qui l'elaborazione di un metodo di progettazione e calcolo delle volte sottili che consiste in un sistema di prove, attraverso le quali misurare le deformazioni che si producono in una serie di modelli appositamente realizzati in vari materiali, che lo porterà a rappresentare in Europa il punto di riferimento degli avversari della scuola tedesca.

Nel secondo dopoguerra, la ricerca sulle superfici hyper³¹ - paraboloidi

²⁹ Cfr. Billington, David e Moreyra Garlock, Maria E., “Eduardo Torroja”, in *Félix Candela. Engineer, Builder, Structural Artist*, New Haven London, Yale University Press, 2008, pp. 45-47.

³⁰ Torroja, Eduardo, *op. cit.*, p. 217.

³¹ Cfr. voce in glossario, apparato A1.



9. Mercato di Algeciras, Torroja, 1933

iperbolici - di cemento armato viene portata avanti con nuovo vigore dall'ingegnere Felix Candela, il quale scettico nei confronti della teoria dell'elasticità, esprime la sua avversità alle trattazioni matematiche troppo complicate e calcola le sue strutture durante la costruzione. Candela, nel corso della sua attività, esaurisce le possibili combinazioni di superfici rigate, hyperboloidi, realizzando circa 500 opere, alcune delle quali vere e proprie sculture, forme eleganti e misteriose, dinamiche, ma anche straordinariamente economiche.³² Nel Ristorante **Los Manantiales** (1958), Candela, con gli architetti J. e F. Alvarez Ordóñez, raggiunge il culmine nella sua straordinaria capacità di comprensione e di gestione delle geometrie complesse dei gusci: il paraboloido iperbolico determina la geometria della struttura: la superficie rigata assicura la semplicità esecutiva e ad essa è affidato anche il controllo formale. L'edificio è un'aggregazione radiale di 8 spicchi di paraboloido iperbolico che s'incontrano lungo 8 diagonali paraboliche, di luce massima di 30m. Il bordo esterno è realizzato con una sezione della lamina con un piano fortemente inclinato verso

³² Cfr. Iori, Tullia, *Gusci sottili di cemento armato*, in "Area", n. 57, cit., pp. 16-23.



10. Frontón Recoletos, Torroja, Madrid, 1935

l'esterno che taglia il guscio ancora secondo una sagoma parabolica.³³ Questo complicato disegno consente di sollevare, secondo una linea sinusoidale, il bordo rispetto al centro, in modo da captare più luce naturale possibile e rendere visibile, dall'esterno dell'edificio, l'estrema sottigliezza della copertura laminare *“semplificando i metodi di calcolo della bibliografia strutturale, ricercando una comprensione più diretta, più concreta e più empirica della costruzione in cemento... Candela agisce come un artigiano costruendo direttamente a partire dalla materia che manipola”*³⁴.

La superficie del paraboloido iperbolico di Candela presenta la fondamentale caratteristica di essere rigata cioè realizzabile anche attraverso una doppia traslazione di segmenti rettilinei su due generatrici, anch'esse rettilinee, e sghembe nello spazio. Ciò consente di realizzare casseforme non troppo complesse e costose, costituite da elementi lignei lineari, orditi secondo la rigatura stessa della superficie. La costruzione delle casseforme è altro tema,

³³ Cfr. Billington, David e Moreyra Garlock, Maria E., “Eduardo Torroja”, in *Félix Candela. Engineer, Builder, Structural Artist*, cit., pp. 142-148.

³⁴ Ordóñez, José A. Fernández, *Recoletos (voûte des)*, in “L'art de l'ingénieur”, p. 401.



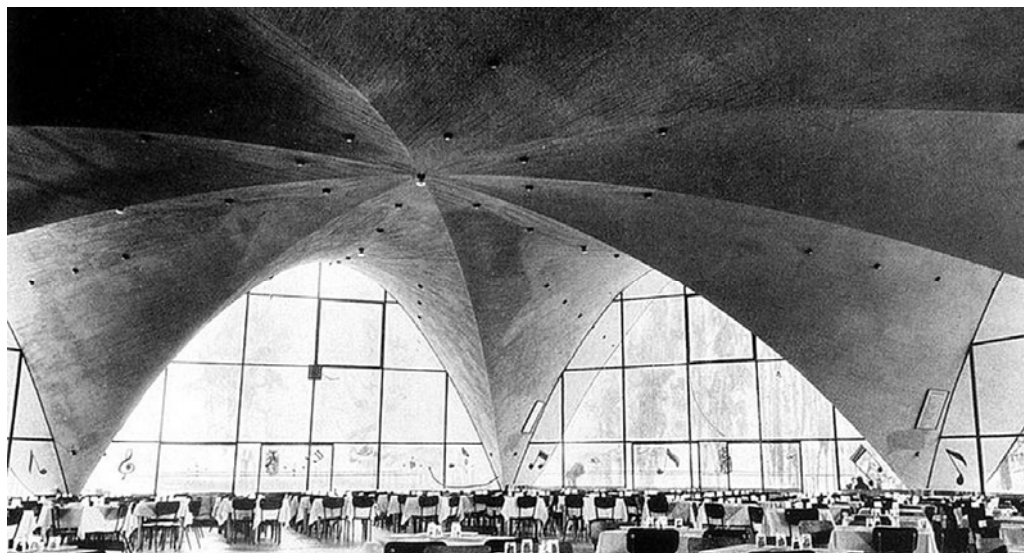
11. Los Manantiales, Candela, Xochimilco, 1958

assai rilevante nella storia delle volte sottili. A esso, in Italia Nervi offre un valido contributo.³⁵

*“La preparazione delle casseforme in legno si presenta particolarmente laboriosa e costosa, per l'impossibilità di preparare con tavole rettilinee le superfici a doppia curvatura. Il sistema messo a punto per il Palazzetto dello Sport consiste nello scomporre la superficie da costruire in porzioni da circa 2 a 4 mq e di preparare ognuno di questi elementi su un'apposita dima, riproducendo la superficie da costruire, cosicché, affiancati, vengano a ricostruirla esattamente. Ogni elemento ha i bordi sagomati e accostando gli elementi si creano canali di circa 10 ÷ 15 cm di larghezza, i quali, previo collocamento di opportune armature in tondino e successivo getto di conglomerato, diventano altrettante nervature resistenti.”*³⁶

³⁵ Cfr. Iori, Tullia e Poretti, Sergio, “Le opere di Pier Luigi Nervi alle Olimpiadi di Roma del 1960”, in *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, Roma, Edizioni Kappa, 2007, pp. 105-118.

³⁶ Nervi, Pier Luigi, *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, cit., pp. 34-35.



12. Veduta interna, Los Manantiales, Candela, Xochimilco

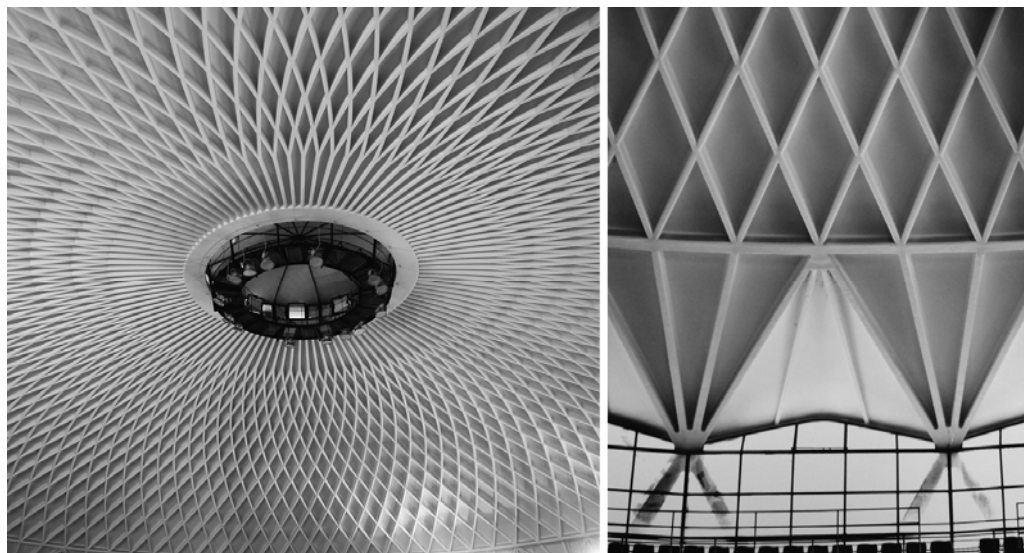
Nel **Palazzetto dello Sport di Roma**, progettato da Nervi e realizzato nel 1956 con l'architetto A. Vitellozzi, la cupola che delimita lo spazio interno è costituita da una struttura ondulata completata superiormente da una soletta continua dello spessore di 9cm. Le ondulazioni sono formate da elementi prefabbricati, sette in senso radiale, resi solidali tra loro e con la soprastante soletta mediante armature metalliche poste nel cavo e nel colmo delle onde e successivo getto in opera di conglomerato ad alta resistenza. Si formano in tal modo delle nervature collegate dalle pareti degli elementi prefabbricati, che con la soletta creano il sistema resistente. Il sistema così ottenuto è iperstatico: la cupola può trovare una situazione di stabilità sia come membrana sia come serie di nervature-archi atti a resistere, per effetto della loro intrinseca rigidità, al peso proprio e alle azioni esterne. Il guscio sottile di copertura è poi sostenuto da un'elegante teoria di 36 sostegni a forma di "Y", anch'essi realizzati in calcestruzzo armato, fortemente inclinati, che completano così la sagoma del grande segmento di cupola sferica.³⁷ L'elemento su cui è

³⁷ Cfr. Nervi, Pier Luigi jr e Postano, Giuseppe, *Pier Luigi Nervi*, Serie di Architettura 5, a cura di Paolo Desideri, cit., pp. 70-79.



13. Cantiere Palazzetto dello Sport, Nervi, Roma

concentrata l'originale qualità dell'architettura di Nervi è la superficie intesa come elemento delimitante lo spazio. Il cemento armato è la pietra artificiale "più duttile di qualsiasi pietra naturale". La sua lavorabilità consente di conferire agli elementi conformazioni variate, ricostituendo nell'assemblaggio la continuità dell'insieme. Questa caratteristica apre un vasto campo per la ricerca progettuale; campo che trova il proprio centro nella conformazione delle superfici. Un campo di ricerca affatto originale se si considera che l'introduzione del cemento armato - e dell'acciaio - ha influito in misura determinante sulla tendenza, opposta, a separare sempre più nettamente il telaio rispetto alle superfici di chiusura e divisione. La centralità della superficie nell'architettura di Nervi si coglie dall'interno dell'edificio. Nel Palazzo dello Sport di Roma, i sedici simmetrici ingressi introducono nella galleria circolare a doppia altezza. Attraverso la galleria si accede, finalmente, alla sala centrale e si coglie come all'invaso delle gradinate si contrappone la grande cupola: una trama di nervature radiali di sezione triangolare, impostata su una serie di ventagli, confluisce, gradualmente più densa e minuta, al lucernario in sommità. Solo dall'interno l'immagine è percepita nel suo giusto verso. Rispetto ad essa, l'esterno appare come il "rovescio", la galleria di smistamento



14. Vedute interne, Palazzetto dello Sport, Nervi, Roma

come uno spazio di risulta. L'edificio rovescia all'interno la sua immagine più significativa; e questa si identifica nella superficie che delimita lo spazio. E' vero che questo motivo principale appare con maggiore evidenza e immediatezza laddove il tema progettuale è quello della grande copertura, come ad esempio accade per le aviorimesse di Orvieto, le sale del Palazzo delle esposizioni di Torino, il palazzo dello sport di Roma, la cattedrale di San Francisco, la sala delle udienze pontificie, ecc.³⁸ Tutta l'opera di Nervi, in realtà, è improntata all'ibridazione di forme e comportamenti strutturali diversi ed è connotata dalla vulcanica creatività di un talento strutturale che rifugge dalle soluzioni tipizzate e che quindi considera ogni singola costruzione una sfida diversa, condizionata anche dalla strategia esecutiva: *“si comprende che la prefabbricazione richiede un ripensamento integrale della struttura che deve essere appositamente progettata come un insieme formato da elementi staccati che vengono successivamente uniti fra loro.”*³⁹

³⁸ Cfr. Poretti, Sergio, *Considerazioni sull'opera di Pier Luigi Nervi*, in “Nervi oggi. Scritti dalle mostre e dai convegni”, a cura di Ramazzotti Luigi, Kappa, Roma, 1983.

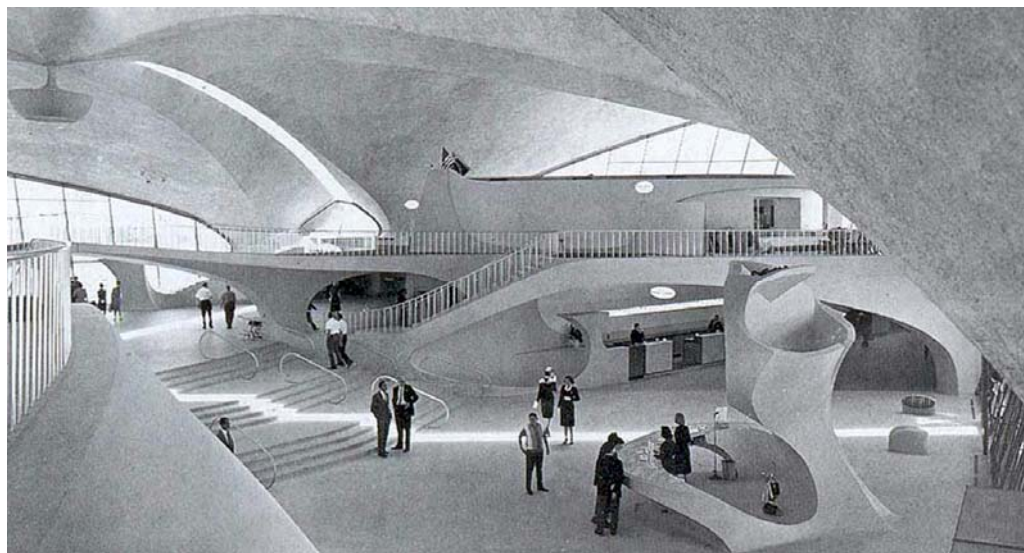
³⁹ Eduardo Torroja, *op. cit.*, p. 88.



15. Terminal Twa, Saarinen, New York, 1962

Nel tema delle grandi coperture si inserisce la struttura quadrilobata del **Terminal Twa** dell'aeroporto di New York, progettato da Eero Saarinen con gli ingegneri della Amman & Whitney nel 1962, in cui lo spessore della lamina in calcestruzzo armato costituente l'involucro globale, cresce dai 15 fino ai 91cm in corrispondenza dei bordi. Il bordo non esile si raccorda plasticamente ai quattro grandi supporti verticali a forma di "Y", sempre in calcestruzzo armato, così da rafforzare l'immagine organica della costruzione. La particolare sagoma del bordo consente di riquadrare i quattro lobuli e di separarli leggermente, lasciando penetrare delle vere e proprie lame di luce che, oltre a garantire un sufficiente livello di illuminazione naturale, rendono visibile e drammatizzano la partizione della copertura anche dall'interno sottolineando i lievi cambi di inclinazione della lamina. La complessa cassaforma, sorretta da un ponteggio composto da 5.500 pezzi, è stata realizzata con 400 pannelli di legno nervati costruiti fuor d'opera e assemblati in situ grazie alla definizione spaziale di altrettanti punti chiave la cui posizione era controllata tramite computer per contenere la tolleranza nel limite di 6mm.⁴⁰

⁴⁰ Cfr. AA.VV., *Eero Saarinen. Shaping the future*, Yale University Press, 2006, pp. 301-306.



16. Veduta interna, Terminal Twa, Saarinen, New York

Altro grande interprete delle volte sottili è stato l'ingegnere svizzero Heinz Isler, che propone un metodo per la progettazione di gusci disegnati a partire da geometrie funicolari, impostato sulla realizzazione di plastici in scala ridotta, realizzati con pezzi di tessuto assemblati, sospesi e quindi impregnati di una speciale sostanza plastica. I modelli essiccati assumono la rigidità necessaria per poter essere capovolti e per riprodurre la forma del guscio; il procedimento, ispirato ad alcune pratiche di costruttori delle cattedrali gotiche, consente di ottenere forme funicolari in cui tutte le parti della lamina sono sottoposte esclusivamente a compressione e consente di sperimentare figure derivanti da geometrie estremamente complesse.⁴¹ Isler costruisce così la copertura del **Garden Center di Wyss** di Soleure del 1961, grande calotta dotata di bordi aggettanti per coprire le vetrate perimetrali e l'Edificio della Sicli Company di Ginevra del 1969, guscio di forma complessa appoggiato su 7 supporti della luce massima di 54m e dello spessore di 9cm. Tali strutture risultano tanto ben sagomate che l'acqua piovana non ristagna in alcun punto, così da rendere non

⁴¹ Cfr. Chilton, John C., *Heinz Isler. Engineer's contribution to contemporary architecture*, Thomas Telford, 2000.



17. Chiesa di San Francesco d'Assisi, Niemeyer, Pampulha, 1943

indispensabile la posa di ulteriori elementi di impermeabilizzazione.⁴² Nel 1971, ancora Isler, per realizzare il **Garden Center di Burgi**, in Svizzera, mette a punto una tecnica che si basa sull'osservazione della forma assunta da una bolla di sapone opportunamente vincolata: l'immagine finale è quella di una vela gonfiata dal vento, in procinto di prendere il volo.⁴³

*"I am not attracted to [right] angles or to the straight line, hard and flexible, created by man. I am attracted to free-flowing, sensual curves. The curves that I find in the mountains of my country, in the sinuousness of its rivers, in the waves of the oceans, and on the body of the beloved woman. Curves make up the entire Universe, the curved Universe of Einstein."*⁴⁴

Così scrive Oscar Niemeyer che, seppure partito da una formazione lecorbusiana, ha poi scelto elettivamente la linea curva, declinata nelle mille varianti di una personale morfologia organica, come elemento cardine del suo

⁴² *Ibid.*, pp. 70-73.

⁴³ *Ibid.*, pp. 86-87.

⁴⁴ Niemeyer, Oscar, *The curve poem*, 2000, p. 3.



18. Palazzo del Parlamento e del Senato, Niemeyer, Brasilia, 1960

linguaggio architettonico.⁴⁵ Infatti, nelle sue opere ha sempre sperimentato nuovi concetti architettonici servendosi del cemento armato per creare strutture spettacolari che rispecchiano le sinuose curve naturali delle montagne, delle spiagge e della baia di Rio de Janeiro. Pertanto l'uso innovatore del cemento armato sostiene e conduce alle numerose soluzioni formali, alle forme libere e antigravitazionali sperimentate dall'architetto brasiliano; la "pelle" dell'involucro, con la quale l'edificio si rende riconoscibile, si rivela in linee curve e superfici che qualificano la configurazione e la spazialità esterna.

Nel 1940 Juscelino Kubitschek de Oliveira, al tempo sindaco di Belo Horizonte, capitale dello Stato di Minas Gerais, propone a Niemeyer un progetto per sviluppare un nuovo quartiere a nord della città chiamato Pampulha. Commissiona a Niemeyer il disegno di una serie di edifici che si conosceranno in seguito come il "complesso Pampulha". Il primo monumento moderno in Brasile è proprio la **Chiesa di San Francesco d'Assisi** di Niemeyer, a Pampulha.⁴⁶ Pampulha ha offerto a Niemeyer un'opportunità di

⁴⁵ Cfr. Styliane, Philippou, *op. cit.*, pp. 89-90.

⁴⁶ *Ibid.*, pp. 109-116.



19. Honesto Guimarães Museum Nacional, Niemeyer, Brasília, 2005

combattere la monotonia dell'architettura contemporanea, come afferma egli stesso:

*“...challenge the monotony of contemporary architecture, the wave of misinterpreted functionalism that hindered it, and the dogmas of form and function that had emerged, counteracting the plastic freedom that reinforced concrete introduced.”*⁴⁷

Il cemento armato è scelto da Niemeyer per la sua duttilità, perché è un materiale che si plasma, capace di assumere forme sempre nuove e imprevedute. L'estrema plasticità della miscela cementizia consente inoltre a Niemeyer di sperimentare innumerevoli varianti di alcune forme archetipiche o primordiali, che percorrono la sua ricerca progettuale. Tale è, ad esempio, la cupola tradotta in una calotta semisferica concava e convessa, adottata rispettivamente nel **Palazzo del Parlamento** e nel **Palazzo del Senato** a Brasília (1958-1960).⁴⁸

⁴⁷ *Ibid.*, p. 97.

⁴⁸ *Ibid.*, pp. 276-282.



20. Veduta interna, Honestino Guimarães Museum Nacional, Niemeyer, Brasilia

Queste configurazioni, pur tradendo la loro matrice di cupola, non svettano nello skyline della città, ma poggiano direttamente a terra, come la gigantesca ciotola replicata di recente nel **Honestino Guimarães Museum Nacional** (2005), sempre a Brasilia. Le forme architettoniche che Niemeyer realizza usando il calcestruzzo, sono complesse e sofisticate, anche se basate dalla composizione di forme libere e di geometrie elementari, e rivelano un forte distacco tra forma e struttura, tra il comportamento statico e l'immagine architettonica dell'edificio.⁴⁹ Anche Nervi, nella *Critica delle strutture*, riferendosi all'edificio a coppa del Congresso Nazionale a Brasilia, il cui diametro di base è molto minore rispetto a quello al coronamento, con una palese inversione della coerenza statica, si interroga sulla sensazione che esso suscita nello spettatore.

“Questa sensazione sarà un godimento di bellezza o non piuttosto una specie di spaurita meraviglia? (...) E quanto costerà questa artificiosa inversione?”

⁴⁹ Cfr. Arpa, Javier, *Oscar Niemeyer. Honestino Guimarães National Museum. Brasilia*, serie “a+t, was here”, Javier Arpa, 2006.

(...) *Il risultato finale compenserà la somma di sforzi, di audacie tecniche di impiego di materiali pregiati, necessari per raggiungerlo? Molte e molte perplessità corrispondono, a mio avviso, a questi interrogativi.*⁵⁰

La traccia del processo costruttivo

Dal momento in cui al calcestruzzo si riconosce una valenza estetica, espressiva e si comincia a svelarlo in superficie, lasciandolo a vista, le possibilità formali del materiale si potenziano e, soprattutto nell'immediato dopoguerra, la miscela cementizia si trasforma a tutti gli effetti da materiale per strutture a materiale per superfici. Il processo costruttivo assume forza proprio nell'impiego a vista del calcestruzzo⁵¹ che si mostra con tutta la carica espressiva della sua fisicità e, mediante il suo impiego, l'involucro diventa così occasione privilegiata di indagine e sperimentazione. Difatti il composto cementizio, fino agli anni quaranta, fatta eccezione per le esperienze progettuali di Perret, non sfrutta a pieno le sue potenzialità espressive, ma si considera uno strumento statico con cui innovare le tradizionali tecniche e concezioni costruttive.

Perret, all'inizio del secolo, intuisce che l'aspetto della superficie era fondamentale per sperimentare le possibilità espressive del materiale e, dopo aver adoperato nella sua celebre **casa in rue de Franklin** a Parigi (1903), un rivestimento naturalistico di grès che crea un disegno di facciata corrispondente alla trama della struttura a telaio⁵², lascia, nelle sue opere successive, il calcestruzzo a vista. Nella **chiesa di Notre Dame de la Consolation a Raincy** (1922), per esempio, realizza una superficie scabra e cangiante lasciando la superficie così come uscita dalle casseforme di legno grezzo.⁵³ I pannelli traforati in calcestruzzo costituenti le pareti perimetrali della chiesa a Raincy e

⁵⁰ Nervi, Pier Luigi, *Critica delle Strutture*, in "Casabella", n. 233, gennaio 1959, p. 55.

⁵¹ Cfr. AA.VV, *Architectures du béton. Nouvelles vague, nouvelles recherches*, a cura di Jean-Louis Cohen e G. Martin Moeller Jr, Editions LeMoniteur, 2006, pp. 46-55.

⁵² Cfr. De Fusco, Renato, *Storia dell'architettura contemporanea*, Grandi Opere, Editori Laterza, 1974, pp. 142-148.

⁵³ Cfr. AA.VV, *Architectures du béton. Nouvelles vague, nouvelles recherches*, a cura di Jean-Louis Cohen e G. Martin Moeller Jr, cit., p. 27.

le linee del telaio che li sostengono articolano il disegno dell'involucro, accentuando ora la faccia interna ora quella esterna.

*“Ci siamo serviti - spiega Perret - delle nervature che riuniscono i pannelli per conferire rilievo alle pareti. Lungo le parti laterali, il cui esterno è sacrificato (perché si affaccia sul muro di confine), abbiamo disposto tutti i profili aggettanti verso l'interno. In facciata abbiamo fatto all'inverso: l'interno non ne soffre, sia perché gli sguardi sono rivolti all'altare, sia grazie all'articolazione di disegno prodotta dal campanile.”*⁵⁴

Alla componente grafica costituita dalla trama delle linee lasciate dalle impronte delle armature centinate sugli intradossi per le volte e da quella delle commettiture tra gli elementi costruttivi nei settori di tamponamento si aggiunge la qualificazione cromatica delle superfici in calcestruzzo lasciate a vista; gli elementi architettonici affermano la presenza predominante di un grigio articolato in toni più chiari per le parti secondarie, dove ad esempio affiora un finissimo pietrisco bianco nelle *claustra*⁵⁵, e in toni più intensi negli elementi portanti. I raccordi imperfetti tra le singole assi di legno delle casseforme, le efflorescenze, lo stesso mutamento della composizione del calcestruzzo, modulano il colore delle superfici aggiungendo elementi di qualificazione ai valori cromatici delle vetrature, restituendo uno spazio chiuso ma non definito, trasfigurato dalla luce, nel quale è il grigio a conferire agli elementi architettonici forza fisica nonostante le esili proporzioni.⁵⁶ Nella **sede del Service Technique des Constructions Navales** del Ministero della Marina (Parigi, 1928-1931) Perret mette in risalto gli spigoli dei pilastri in facciata impiegando un cemento lucidato tra i quali si estende una fascia verticale continua nella quale affiorano inerti bianchi e gialli; la faccia delle lastre di tamponamento invece è scabra e le superfici di grana materica più o meno intensa, così da conferire un forte rilievo agli elementi portanti mai complanari

⁵⁴ Perret, Auguste, in Mayer, Marcel, *Eglises en béton armé*, in “La Revue de Bourbonne”, XV, 1925, n. 7, pp. 364-365.

⁵⁵ Nella Chiesa di Notre Dame de la Consolation a Raincy per *claustra* si intendono i pannelli traforati in calcestruzzo. Per il significato del termine cfr. voce in glossario, apparato A1.

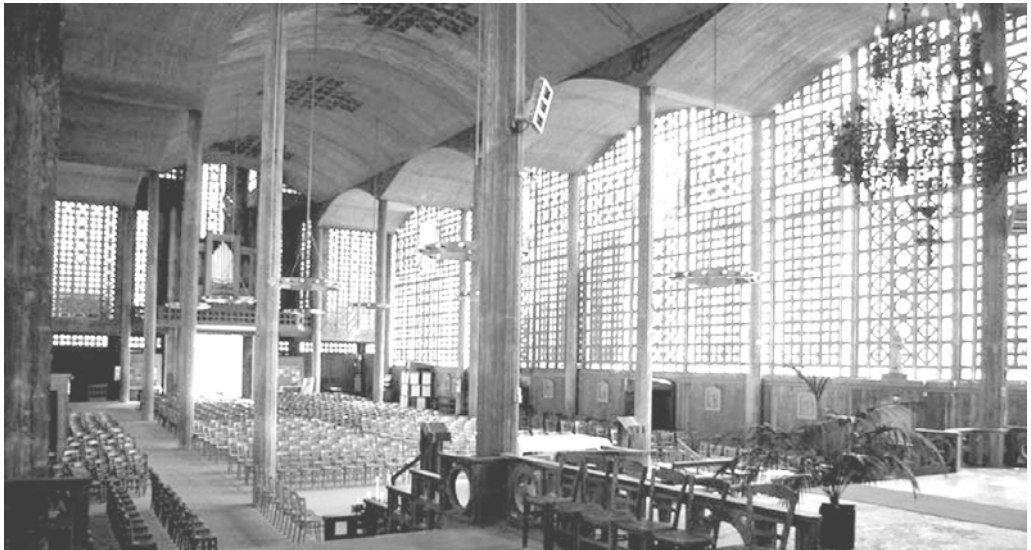
⁵⁶ Cfr. Gargiani, Roberto, *Auguste Perret 1874-1954. Teoria e opere*, Milano, Electa, 1993, pp. 190-192.



21. Casa in rue de Franklin, Perret, Parigi, 1903

tra loro. Nel **Musée des Travaux Publics** (Parigi, 1936-1946) i motivi ornamentali dei capitelli e della trabeazione e gli spigoli degli elementi delle strutture portanti sono ottenuti lucidando con pietra abrasiva le sottili linee grezze in rilievo che sono prodotte sia dalle impronte delle casseforme in legno accuratamente disegnate, sia mediante applicazione, dopo il disarmo, di uno strato di cemento.

“L’ossatura portante, pilastri e colonne, è realizzata con un calcestruzzo di ghiaietto della Senna, ottenuto attraverso una calcolatissima granulometria, vibrato elettricamente o ad aria compressa in modo da assicurare l’omogeneità e politezza delle superfici e degli spigoli al momento del disarmo. Le colonne scanalate attraverso le casseforme sono in selce. Lavorate con la bocciarda, acquistano la nobiltà della pietra, ma la loro durata è maggiore poiché il cemento è impermeabile e non gelivo. Lo stesso vale per le ossature di tamponamento. I tamponamenti sono costruiti utilizzando elementi di calcestruzzo dello spessore di otto centimetri, prefabbricati e montati mediante commettiture di cemento a forma di coda di rondine e dotate di armatura. Il colore è ottenuto attraverso la scelta degli inerti. Non un sacco di gesso è



22. Chiesa di Notre Dame de la Consolation, Perret, Raincy, 1922

entrato nel cantiere del museo. Tutto è in calcestruzzo. Ma alcuni pannelli presentano una tonalità cangiante dal grigio al verde; altri dal giallo al rosa. Una scelta di inerti lapidei ha consentito di ottenere queste differenti sfumature... Il basamento, dalla tonalità tendente al verde, conseguita con del granito, è severo e solido, mentre nelle parti principali i tamponamenti sono rosa, ma di tonalità differenti e mischiate come fiori di un bouquet.”⁵⁷

Nell’**Hôtel de Ville di Le Havre** (1948-1958) le superfici in calcestruzzo delle strutture portanti sono lavorate a bocciarda, tranne quelle della torre, a partire dal primo piano, che sono lasciate come uscite dalle casseforme⁵⁸. La tecnica della lavatura rende scabra la faccia a vista delle lastre di tamponamento, realizzando così una sensibile differenziazione anche di grana superficiale tra strutture e tamponamenti. Nella **Chiesa di Saint-Joseph a Le Havre** (1951-1956) la qualificazione delle superfici in calcestruzzo grezzo è affidata alla

⁵⁷ Perret, Auguste, in Gargiani, Roberto, *op. cit.*, p. 197.

⁵⁸ Nell’impasto del calcestruzzo armato dell’ Hôtel de Ville sono impiegati: ghiaia dell’Orne per il basamento; ghiaia di Saint-Maximin con percentuali minime di quella dell’Orne, per le parti superiori, comprese le colonne; ghiaietto di Eccelle per le lastre di tamponamento.



23. Particolari superfici, Musée des Travaux Publics, Perret, Parigi, 1946

scelta e alla lavorazione del legno delle casseforme per cui è richiesto un grado di raffinatezza e di perfezionamento tecnico e di disegno.

“La cassaforma del calcestruzzo non in vista sarà eseguita in legno grezzo...Il calcestruzzo a vista verrà gettato in casseforme di legno accuratamente piallato. Le grandi superfici delle casseforme saranno di legno compensato...La cassaforma delle colonne sarà realizzata con piccoli elementi verticali di legno, collegati mediante cerchiature esterne che renderanno l'insieme cilindrico indeformabile. Per ottenere le scanalature, all'interno del cilindro verranno applicati dei listelli di legno di forma appropriata. I giunti degli elementi verticali saranno disposti in modo da risultare nascosti dai listelli delle scanalature. L'insieme del cilindro verrà diviso in un certo numero di parti smontabili per facilitare il disarmo. Questo numero sarà fissato in base alla forma adottata per le scanalature. Gli insiemi cilindrici così ottenuti saranno alti circa due metri...Il calcestruzzo delle claustra e



24. Particolari, Hôtel de Ville e Chiesa di Saint-Joseph, Perret, Le Havre

*quello delle lastre di tamponamento sarà gettato in stampi smontabili, disposti su tavole vibranti.*⁵⁹

Le lastre di tamponamento e i pannelli traforati della Chiesa di Saint-Joseph sono disposti in modo che dall'esterno formino una trama di linee con spessori differenti, il cui rilievo è fortemente accentuato dal gioco delle ombre. Le pareti appaiono come sottili membrane, percorse da un fascio di nervature; la luce che filtra dalle *claustra* con vetri colorati è calcolata per dare un chiarore crescente che esalta la cavità della torre che sembra quasi come smaterializzarsi, trasformandosi di notte in un faro per la città-porto.

Nelle opere degli anni Quaranta e Cinquanta, a Le Havre, ad Amiens, a Saclay, il calcestruzzo armato di Perret si rivela ormai inattuale vista l'economia imposta dai procedimenti industrializzati e da una logica di cantiere concentrata sui tempi e sulle possibilità delle macchine. Nonostante ciò, la tenace convinzione nei valori di finitezza di lavorazione del calcestruzzo non viene mai meno in Perret.

⁵⁹ Perret, Auguste, in Gargiani, Roberto, *op. cit.*, p. 200.



25. Unité d'Habitation a Marsiglia, Le Corbusier, 1947-1952

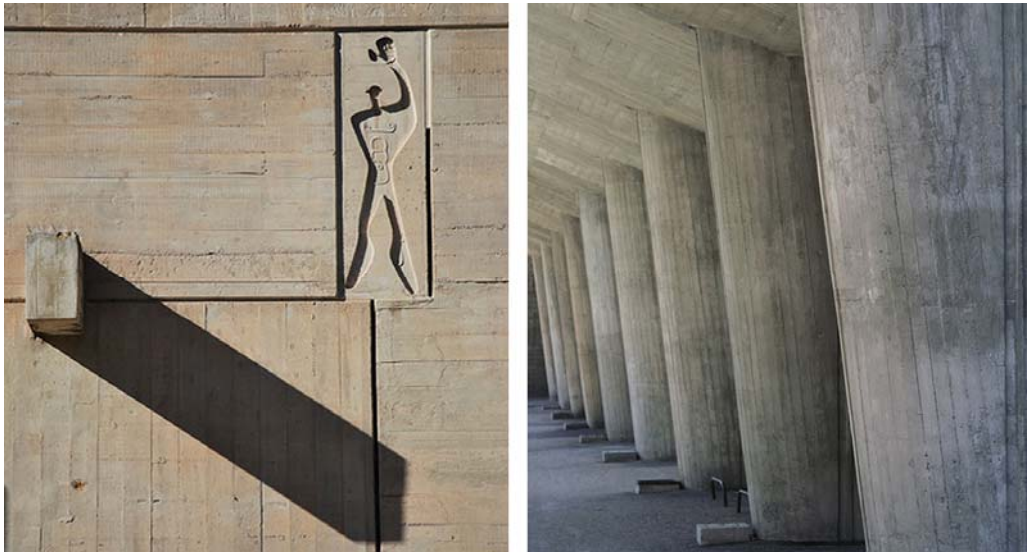
“Il mio calcestruzzo – dichiara a Roger Claude nel 1944 – è più bello della pietra. Lo lavoro, lo cesello. Con breccia di granito o di arenaria dei Vosgi come inerti...ne faccio una materia che supera in bellezza i rivestimenti più pregiati. Il calcestruzzo è una pietra ricostruita, che non cambia...Il calcestruzzo è una pietra che nasce, e la pietra naturale è una pietra che muore.”⁶⁰

Anche a Le Corbusier deriva il gusto dell'impronta lignea sulla superficie; si pensi all'**Unité d'Habitation a Marsiglia** (1947-1952), o alla **cappella di Ronchamp** (1950-1955), dove però il calcestruzzo è a servizio della luce che la materializza e la guida.⁶¹

“La realizzazione dell'Unité di Marsiglia ha dimostrato quale splendore sia possibile ottenere usando il calcestruzzo armato come un materiale naturale...che merita di essere lasciato a vista nel suo stato naturale. La

⁶⁰ *Ibid.*, p. 202.

⁶¹ Cfr. Portoghesi, Paolo, *Editoriale*, in “Materia”, n. 62, Federico Motta Editore, 2010.



26. Particolari, Unité d'Habitation a Marsiglia, Le Corbusier

costruzione è durata cinque difficili anni ed è stata costantemente disturbata da una varietà di circostanze; non c'era coordinazione e gli operai, perfino quelli del settore, erano indifferenti e incapaci di collaborare. I carpentieri che approntavano le casseforme, ad esempio, hanno eseguito il lavoro convinti che i difetti - come al solito - sarebbero stati corretti con la cazzuola, intonacati o coperti di pittura una volta disarmato. I difetti saltavano agli occhi in ogni parte della struttura! (...) ma sono magnifici a vedersi, interessanti da osservare, e se si ha un po' di immaginazione aggiungono una certa ricchezza... ”⁶²

Le Corbusier faceva apparire il calcestruzzo quasi un materiale nuovo, sfruttando la sua grossolanità e quella delle casseforme in legno per creare una superficie architettonica di “ruvida grandezza”⁶³ e l'Unité d'Habitation a Marsiglia rappresenta, come afferma lo stesso Le Corbusier:

⁶² Le Corbusier, in Boesiger, Willy, *Oeuvre Complète 1946-52*, vol. 5, Birkhauser, Basilea, Boston e Berlino, 1953, p. 191.

⁶³ Croft Catherine, *Materiali in architettura: calcestruzzo*, Modena, Logos, 2005, p. 20.



27. Salk Institute, Kahn, LaJolla, 1966

“Un exemple frappant de malfaçon de béton armé considéré comme l’un des éléments constitutifs d’une symphonie plastique.”⁶⁴

Le Corbusier riesce a infondere nella nuova tecnica le qualità di quella tradizionale grazie allo studio del processo costruttivo, dando forza plastica a ogni pezzo delle casseforme, che viene esaltato come accadeva per il singolo concio del muro rendendo così la sua parete in cemento un’*oeuvre plastique*.

Al calcestruzzo ruvido e grezzo di Le Corbusier, si contrappongono le pareti lisce e satinare di Kahn, solcate dai giunti e dalle cavità dei distanziatori, le sagome minutamente scalettate di Scarpa, i muri astratti e monocromatici di Ando. Nel **Salk Institute di LaJolla** in California (1959-66), la “pietra liquida” di Kahn è lasciata a vista e resa espressiva grazie all’impiego di casseri di teak trattati con vernici particolari che riducono al minimo le sbavature. Il segno lasciato dai giunti dei pannelli dei casseri in cui è colato il calcestruzzo è volutamente enfatizzato al fine di marcare la modularità della griglia formale di

⁶⁴ Le Corbusier, in Boesiger, Willy, *op. cit.*, p. 218.



28. Particolari, Salk Institute, Kahn, LaJolla

progetto, e segna la “pelle” dell’edificio. Le proporzioni con cui tutte le facciate sono disegnate divengono così esplicite. Il sistema costruttivo adottato nel cemento armato gettato in opera, richiede che le casseforme siano mantenute parallele l’una dall’altra attraverso dei distanziatori che ne assicurino la tenuta durante le fasi di lavorazione. Nel Salk Institute questi distanziatori rimangono, tolti i pannelli, annegati nella parete, lasciando segni, fori passanti chiusi poi con tappi di piombo, che richiamano i fori di una tessera del domino; è un’ulteriore modularità che rimarca la variazione controllata dell’altezza di ogni pannello. Le tracce del sistema costruttivo sono lasciate a vista come elemento di disegno della superficie della facciata, come segno della rigorosa maglia geometrica e testimonianza del lavoro dell’uomo; il calcestruzzo qui acquista una notevole forza espressiva, un linguaggio a cui partecipa l’effetto della luce naturale che si modifica continuamente in rapporto al variare delle superfici (aggetti, rientri, vuoti, pieni, salti cromatici e di texture di materiali, bruschi cambiamenti di orientamento). E ancora nella **sede del Governo a Dacca** (Bangladesh, 1962-73), Kahn lascia i muri di calcestruzzo a vista, decorati con fasce di marmo bianco inserite a intervalli regolari corrispondenti all’altezza delle casseforme, come se il giunto tra le



29. Sede del Governo, Kahn, Dacca, 1973

casseforme fosse stato dilatato lasciando un solco profondo poi occluso. Le superfici intessute da giunti verticali muoiono in corrispondenza delle enormi aperture mentre le commettiture orizzontali, alternativamente, diventano anche gocciolatoi.⁶⁵ Questo espediente consente di occultare le tracce delle riprese del getto e di minimizzare le differenze di colore del calcestruzzo che, considerando i lunghissimi tempi di realizzazione dell'opera sarebbero stati inevitabili. La cassaforma lignea è stata predisposta per sagomare il calcestruzzo in modo da creare gli alloggiamenti per i listelli lapidei nelle apposite scanalature. La presenza dei numerosi gocciolatoi ha evitato inoltre il formarsi di inestetici dilavamenti lungo le pareti in calcestruzzo, concluse in sommità con un identico elemento posto lungo tutto il perimetro.⁶⁶

Passando da Le Corbusier, a Kahn, a Scarpa fino a Tadao Ando, progressivamente il cemento armato assume un nuovo ruolo trasformandosi da

⁶⁵ Cfr. AA.VV, *Louis Kahn 1963-1969*, numero monografico di "L'Architecture d'Aujourd'hui", Feb.-Mar. 1969.

⁶⁶ Cfr. Fumo, Marina e Ausiello, Gigliola, *Louis I. Kahn. Architettura e Tecnica*, Napoli, Clean Edizioni, 1996, pp. 151-153.

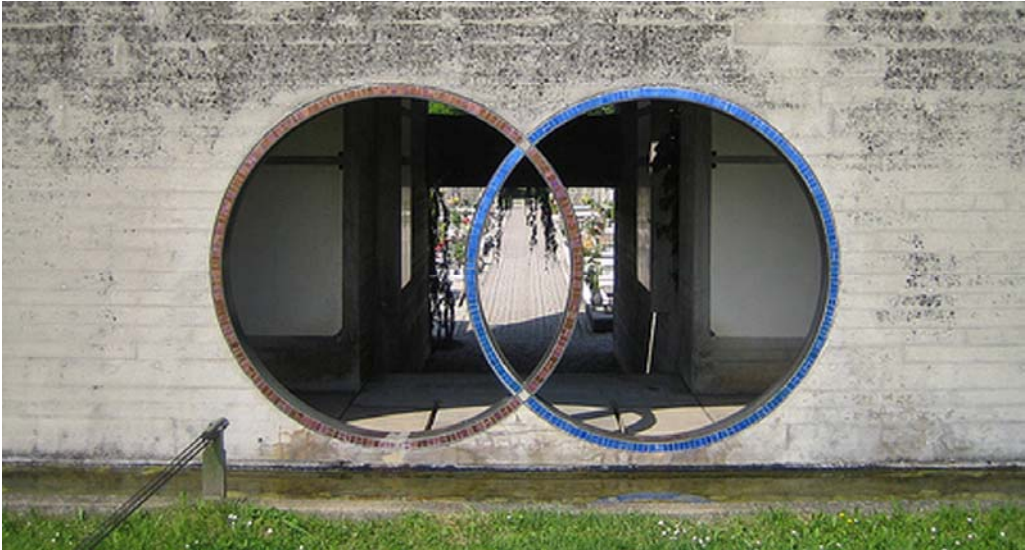


30. Particolari, Sede del Governo, Kahn, Dacca

materiale per strutture a materiale per superfici. Protagonista di questa nuova immagine architettonica è la superficie dell'involucro, delle pareti che delimitano l'organismo architettonico; elementi con ben incise le tracce della loro realizzazione, nella quale si combinano abilità artigianale e tecnologia moderna. E così, ai gusci e alle piastre grezze e ruvide di Le Corbusier si contrappongono i lisci e satinati muri di Kahn, per poi arrivare alle sagome minutamente scalettate del **cimitero della famiglia Brion**⁶⁷ a San Vito d'Altivole (Treviso, 1969-1978) di Scarpa in cui l'immagine monolitica del getto, sapientemente fluidificato mediante additivi innovativi, è ottenuta da casseforme spesso costituite da listelli di legno non piallato e assemblato con precisione da ebanista. Addossato al vecchio cimitero del paese, il progetto di Scarpa mostra superfici non intonacate su cui sono a vista le tracce delle casseforme che, come pietre naturali, vengono sagomate con il processo di degrado provocato dagli agenti atmosferici.⁶⁸ Dovunque la decorazione delle superfici a dentelli, cioè scalettate, frammenta i muri in cemento e assume varie

⁶⁷ Cfr. Dal Co, Francesco e Mazzariol, Giuseppe, *Carlo Scarpa. Opera completa*, Electa, Milano, 1984.

⁶⁸ Cfr. De Fusco, Renato, *op. cit.*, pp. 362-364.



31. Particolare, Tomba Brion, Scarpa, San Vito d'Altivole, 1978

forme: ad esempio, nel tempietto, quella di “tramoggia” a volte scava gli angoli, lasciando dei vuoti simili a piramidi a gradoni in negativo, a volte emerge misteriosamente da piccoli incassi rettangolari. Oppure può trattarsi di una cornice scalettata che contorna le aperture, definisce le sommità dei volumi, insinuandosi dappertutto, persino sotto il velo dell’acqua che circonda il tempietto. È stato osservato, che per quanto tipico dell’architettura di Scarpa, il motivo decorativo scalettato qui sembra davvero costituire il filo rosso che unisce il tutto: confonde interno ed esterno, aria materia ed acqua, cadenza il cavo soffitto ligneo, modula le superfici, dissolve i profili, si immerge nel lago.⁶⁹ L’intera area del cimitero della famiglia Brion è recintata da un muro inclinato verso l’interno che evidenzia la differenza di livelli tra cimitero e campagna esercitando una funzione al tempo stesso di apertura e chiusura visuale, di separazione e comunicazione. Setti cementizi traforati rompono agli angoli la continuità della superficie del recinto. *“Le maglie di tali setti disegnano una curiosa trasparenza e ritagliano nella luce figure che sembrano*

⁶⁹ Mazzariol, Giuseppe e Barbieri, Giuseppe, “Vita di Carlo Scarpa”, in Dal Co, Francesco e Mazzariol, Giuseppe, *op. cit.*, p. 21.



32. Particolari, Tomba Brion, Scarpa, San Vito d'Altivole

ricordare quelle di ideogrammi orientali...per chi osserva la costruzione dall'esterno, la recinzione costituisce una barriera, sul cui orizzonte si stagliano il coronamento decorato del tempietto emergente come una prora, la copertura dell'edicola addossata al muro e le sagome dei cipressi. Per coloro che si trovano all'interno del recinto, questo appare come una linea sottile, che inquadra il paesaggio, commentandone le lontane profondità."⁷⁰

L'architetto ticinese Mario Botta subisce l'influenza del suo maestro Carlo Scarpa e della collaborazione con Le Corbusier e Louis Kahn, dai quali eredita la preferenza del calcestruzzo come materiale costruttivo. Nel 1966 reinterpreta, nel primo progetto di residenze unifamiliari, le ville di Le Corbusier attraverso superfici in calcestruzzo a vista che conservano le tracce delle casseforme⁷¹, come accade nelle pareti della **Scuola Media a Morbio**

⁷⁰ Dal Co, Francesco, "Genie ist Fleiss. L'architettura di Carlo Scarpa", in Dal Co, Francesco e Mazzariol, Giuseppe, *op. cit.*, p. 64.

⁷¹ Cfr. AA.VV, *Atlante del Cemento*, collana "Grande Atlante di Architettura", cit., pp. 36-37.



33. Casa a Morbio Superiore, Botta, 1983-1984

Inferiore (1972-1977) realizzate impiegando un particolare calcestruzzo⁷². Successivamente, specie negli ultimi lavori, Botta, alla riduzione dei volumi a forme elementari, accompagna una ricerca e un'indagine sui materiali sempre più precisa e attenta. Nelle residenze private, ad esempio, sarà costante la presenza del blocco di calcestruzzo⁷³, impiegato inizialmente per la sua economicità e poi trasformato in strumento privilegiato di sperimentazione formale. Nelle opere di Botta, l'impiego del blocco di calcestruzzo usato come rivestimento evocando la tipica muratura ticinese in granito ruvido di cava, assume configurazioni e colorazioni diversificate; si pensi alle sperimentazioni cromatiche dell'**abitazione a Lingornetto** (1975-1976), dove in facciata si riprende un motivo a strisce brune e bianche, della **casa di Massagno** (1979) con i corsi alternati di blocchi di calcestruzzo rosati e grigi, o al gioco dei corsi disposti a 45 gradi dell'**abitazione di Ligornetto** (1977-1978). Nella **casa a**

⁷² Si tratta del calcestruzzo Leca utilizzato in passato perché leggero, resistente e più termicamente isolante rispetto al calcestruzzo tradizionale. Successivamente si è rivelato soggetto facilmente a fenomeni di degrado (attacco degli agenti atmosferici, variazioni termogrignometriche e cause accidentali come urti, vibrazioni e sisma).

⁷³ Tipo BKS delle dimensioni 25x12x3 (h) cm.



34. Particolari, Casa a Morbio Superiore e a Massagno, Botta

Morbio Superiore (1983-1984) i blocchi inclinati si colorano d'argento offrendo di volta in volta un'immagine diversa a seconda dello scorrere della luce. Il gioco cromatico e l'impiego dei blocchi in calcestruzzo arricchiscono le facciate delle opere di Botta, che instaurano un dialogo con l'ambiente circostante, dimostrando come un "muro" possa essere uno strumento non di chiusura, ma di trasposizione, di proiezione verso l'esterno dei valori simbolici dell'edificio.⁷⁴

Le pareti di calcestruzzo di Tadao Ando si presentano come costituite da una griglia di blocchi ognuno dei quali porta impresso sei fori lasciati dai bulloni della cassaforma.⁷⁵ Nella **Casa Koshino** (1979-84), Ando combina calcestruzzo e pareti vetrate in un seducente gioco di luce e superfici in cui i muri si mostrano animati e trasfigurati a ogni stagione dalla luce solare. Il segreto non risiede in una particolare composizione della miscela cementizia, ma in un'accurata supervisione e una non comune abilità manuale degli

⁷⁴ Cfr. Dal Co, Francesco, *Mario Botta Architetture 1960-1985*, Milano, Electa Editrice, 1985, pp. 59-60, 68-69.

⁷⁵ Cfr. Gaventa, Sarah, *Concrete Design*, Mitchell Beazley, 2006, p.116.

operai.⁷⁶ Generalmente verniciati con un prodotto protettivo, i muri lucenti possiedono una delicatezza tanto eterea da contraddire la robustezza tipica del materiale che nelle opere di Ando assume la sublime potenza di una massa alterata dalla natura.⁷⁷ Con toni poetici il progettista spiega questo effetto:

“Nel modo in cui io lo utilizzo, il calcestruzzo è privo di peso e di solidità scultorea. Serve a produrre superfici omogenee e luminose. Io tratto il calcestruzzo come un materiale freddo e inorganico con una forza nascosta. Il mio intento non è esprimere la natura del materiale, ma impiegarlo per stabilire il singolo intento nello spazio.”⁷⁸

Pertanto il processo di rivelazione dei metodi costruttivi che si avvia nell'immediato dopoguerra prende forza proprio nel trattamento brutalista riservato al conglomerato e segna via via il passaggio del cemento armato dallo status di materiale economico, strutturale, povero, a materiale lavorato, raffinato, esibito, prezioso. La sperimentazione architettonica porta a spogliare il cemento armato dei rivestimenti lapidei, degli intonaci, di tutti gli strati protettivi e a esibire il conglomerato nudo, a vista, con bene impresse sulla superficie le venature delle casseforme usate per sagomarlo. In questo passaggio gli architetti sono stati sostenuti dai risultati della ricerca scientifica, dai progressi dell'industria, dall'opera di maestranze non di certo ordinarie: dosaggio di inerti e acqua, modifiche nella composizione della miscela, innovazione nelle tecnologie costruttive hanno consentito e dato il via a una sperimentazione di tipo formale, sulla cui scia si è innestata la ricerca architettonica più recente.

L'innovazione tecnologica come orizzonte espressivo nel XXI secolo

L'evolversi della ricerca ha consentito e sostenuto nel tempo la spinta delle sperimentazioni mediante l'impiego delle tante miscele di calcestruzzo,

⁷⁶ Cfr. Croft, Catherine, *op. cit.*, p. 23.

⁷⁷ Cfr. Slessor, Catherine, *Concrete Regionalism*, Londra, Thames and Hudson, 2000, p. 51.

⁷⁸ Ando, Tadao, in Slessor, Catherine, *op.cit.*, p. 51.

sospingendo al “limite” le possibilità espressive e tecniche di questo materiale; limite che chiaramente si sposta sempre più in avanti in ragione del livello di definizione e di approfondimento cui la ricerca rinvia. Dalle brillanti intuizioni che animano le indagini degli inizi del XX secolo, passando attraverso le grandi e audaci sperimentazioni, si giunge al XXI secolo con un calcestruzzo che, nella sua composizione e modalità di messa in opera, continua a subire incessanti processi di mutazione, stabilendo ancora una volta nuovi orizzonti espressivi possibili per l’involucro in calcestruzzo che toccano sì i temi tradizionalmente consolidati della leggerezza, della plasticità e del facciavista, ma con estensioni del tutto inedite. Pertanto, la superficie dell’involucro si assottiglia, riduce al minimo la materia mentre le strutture portanti diventano sempre più sofisticate ed esili con i calcestruzzi ad alte prestazioni, si sagoma in forme sempre più complesse con gli autocompattanti, addirittura si smaterializza, diventa traslucida e trasparente con i fibrorinforzati, fino a toccare i temi della sostenibilità ambientale con gli eco-cementi. E così, l’involucro architettonico in calcestruzzo del XXI secolo custodisce gelosamente le conquiste del novecento, le esperienze dei grandi maestri, per affacciarsi al terzo millennio, sospinto da nuove propulsioni, impreziosito da innovativi componenti e moderne tecnologie, rivelandosi ancora una volta come un materiale “nuovo”, cangiante, mutevole.

Il calcestruzzo offre oggi possibilità di “redenzione” al manufatto cementizio o al semiprodotto che, sempre più, assume una propria dignità materica al pari di altri materiali quali il legno o la pietra. Nell'esposizione “*Liquid stone: New architecture in concrete*”, promossa dall’azienda Lafarge⁷⁹ e inaugurata il 20 ottobre 2004 a Washington-Princetons, si parla del calcestruzzo come “pietra liquida” a sottolineare oltre le proprietà reologiche dei nuovi calcestruzzi autocompattanti, i requisiti di flessibilità estetica, formale e strutturale di questo materiale che sta sempre di più assumendo i connotati di una materia. La mostra si presenta al pubblico del National Building Museum di Washington attraverso un distesa di tondini metallici. Sul New York Times, Mark Glassman illustra l’allestimento dedicato al calcestruzzo armato, presentato nella sua straordinaria mutevolezza:

⁷⁹ Il Gruppo francese Lafarge è leader mondiale nella produzione di materiali da costruzione.

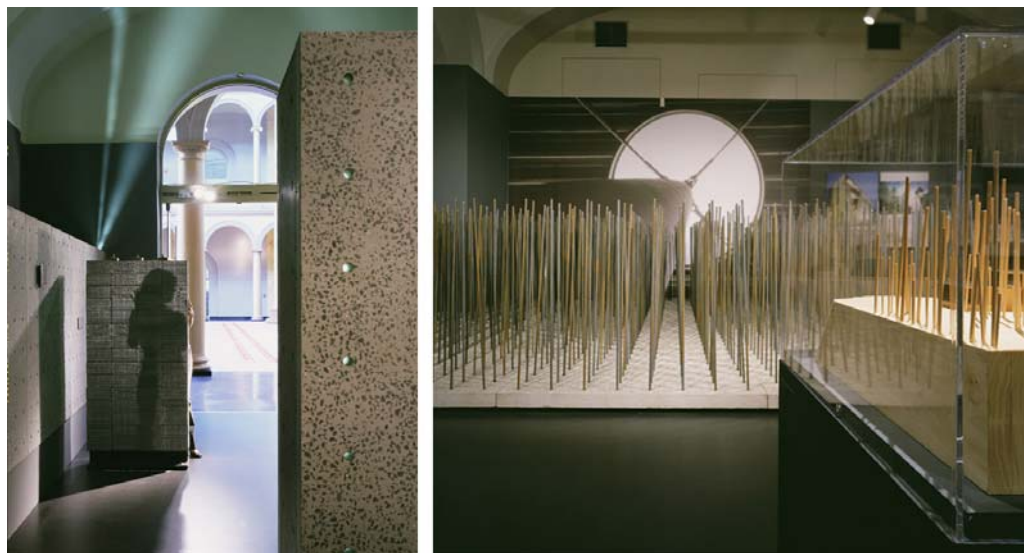


35. “*Liquid stone: New architecture in concrete*”, Washington, 2004

“The National Building exhibition, running through Jan. 23, showcases how these designers are using it to develop innovative structures and forms, challenging the drab tradition of one of the world's most common construction materials. «People think of concrete as being this one kind of thing» said Martin Moeller, the curator of the show. «In fact it can be almost anything».”⁸⁰

La mostra, “*Liquid Stone: New Architecture in Concrete*”, evidenzia come i progettisti oggi utilizzano il calcestruzzo con maggiore consapevolezza, efficienza ed eleganza che mai, in un'epoca in cui è sempre crescente l'attenzione verso i temi dell'immaterialità e della leggerezza. Tutto questo si racconta in un'atmosfera riflessiva, in cui il curatore della mostra Martin Moeller evita abilmente una rassegna storica concentrandosi sull'innovazione di 29 progetti contemporanei, articolati in quattro sezioni: struttura, superficie, forma scultorea e nuove tecnologie e formule. Gli architetti Tod Williams e

⁸⁰ Mark Glassman, *Concrete Is Learning New Tricks, Like Letting in the Light*, sulla pagina “Arts” del quotidiano New York Times del 10 agosto 2004.



36. “*Liquid stone: New architecture in concrete*”, Washington, 2004

Billie Tsien⁸¹ incaricati della progettazione della mostra hanno messo a punto un’idea molto chiara, impiegando i componenti di base del calcestruzzo (pannelli e tondini per cemento armato) al fine di creare un paesaggio meditativo e unificante, uno sfondo “muto” che offre al visitatore un’atmosfera contemplativa per apprezzare, senza distrazioni, la severa bellezza delle fotografie, dei modelli esposti nelle gallerie del museo.

Pertanto nella mostra, come da un’attenta lettura della produzione architettonica contemporanea, si ritrova come il materiale, con le sue mutazioni intrinseche e innovazioni tecnologiche, sia interprete espressivo oggi più che in ogni altro momento storico e come la ricerca e sperimentazione trovi un campo privilegiato di indagine e sperimentazione nell’involucro attraverso i calcestruzzi di ultima generazione e le originali modalità di messa in opera. La sperimentazione attuale coinvolge soprattutto gli ultra-high performance concrete (UHPC), i calcestruzzi ad altissime prestazioni, con eccezionali

⁸¹ Architetti noti al pubblico internazionale per il loro intervento rigoroso e delicato del *Neuroscience Institute* di La Jolla in California (1995), per il *Cranbrook Schools Natatorium* a Bloomfield Hills nel Michigan (1999) o per il più recente progetto dell’*American Folk Art Museum* a New York (2001).



37. Passerella della Pace, Ricciotti, Seoul, 2002

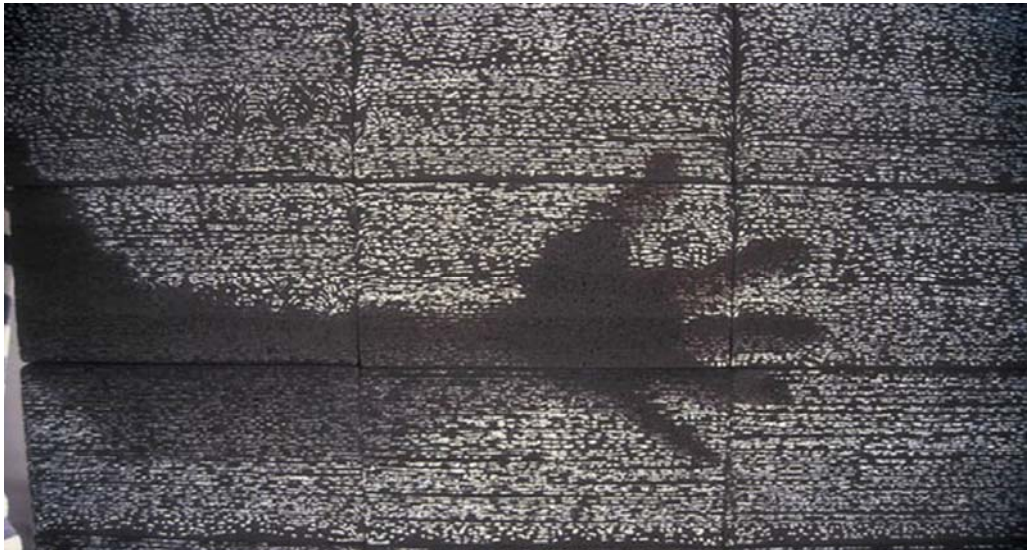
capacità di resistenza a compressione e sorprendentemente anche a trazione. Ad esempio il Ductal^{®82}, di origine francese, annuncia con le sue applicazioni che presto il calcestruzzo potrebbe fare a meno dell'armatura e l'esilissima sezione della Passerella della Pace di Seonyu, in Corea del Sud, progettata dall'architetto-ingegnere Rudy Ricciotti, anticipa gli sviluppi formali di una tale mutazione.⁸³ Il rapporto acqua/cemento estremamente basso, l'aggiunta di reattivi pozzolanici, come la polvere di silicati o il metacaolino, e di inerti fini (fino 0,5 mm) o grossi (fino a 16 mm), consente la riduzione della massa strutturale oltre che dell'armatura per il raggiungimento di elevati valori di resistenza meccanica. L'aggiunta di speciali additivi, poi, apre nuove prospettive che ampliano notevolmente l'applicabilità dell'UHPC che può raggiungere una capacità di resistenza di compressione fino a 800 N/mm^2 , anche se il probabile settore di applicazione è circoscritto ad una resistenza di 300 N/mm^2 .⁸⁴

Ma altre miscele, arricchite di polveri reattive, di magici additivi e dalla

⁸² Per approfondimenti in merito al brevetto Ductal[®] consultare l'apparato A3 in allegato.

⁸³ Cfr. Ricciotti, Rudy, *La Passerelle de la Paix. Séoul*, Jean-Michel Place éditions, 2001.

⁸⁴ Cfr. AA.VV., *Tectonica. Hormigòn (III)*, n. 25, Madrid, Editione ATC, 2007, pp. 9-11.



38. Il calcestruzzo trasparente LiTraCon®

granulometria degli inerti sapientemente progettata, sono pronte a valorizzare la vocazione del cemento armato “all'esibizione”. Zaha Hadid ha scelto un self-compacting concrete (SCC) per ottenere le superfici coniche pericolosamente inclinate e i tagli netti, dagli spigoli affilati, delle bucaure del suo Phaeno Science Centre: senza bisogno di vibrazione e quindi senza i conseguenti microvuoti, il cemento superfluido garantisce una densità inusitata a sagome dinamiche che appaiono ritagliate dal laser.⁸⁵ Tecniche fotografiche e innovativi additivi ritardanti hanno invece consentito ad Herzog & de Meuron di imprimere su pareti di calcestruzzo immagini ossessivamente ripetute per trasformare le facciate della Biblioteca di Eberswalde in una gigantesca opera di pop art. Il calcestruzzo facciavista viene ottimizzato con le nuove miscele, tecnologicamente migliorato con le casseforme in legno o metalliche a permeabilità controllata CPF (Controlled Permeability Formwork) sperimentate in Giappone.⁸⁶ Un ulteriore progresso è stato fatto con l'adozione di feltri di tessuto non tessuto ottenuti da fibre plastiche per rivestire le

⁸⁵ Cfr. Tchou, Donata, “Sotto e dentro il monolite. Phaeno Science a Wolfsburg”, in *Le forme del cemento: Plasticità*, a cura di Carmen Andriani, cit., pp. 38-40.

⁸⁶ Cfr. AA.VV, *Tectonica. Hormigòn (III)*, n. 25, cit., p. 15.

casseforme. Recentemente, però, la problematica in merito all'aspetto del facciavista è stata risolta inserendo fogli rigidi di resina di plastica permeabili all'aria e relativamente all'acqua che realizzano superfici di ottima qualità estetica. Per la nuova Chiesa Dives in Misericordia a Roma, l'architetto americano Richard Meier ha stimolato l'invenzione del Bianco TX Millennium^{®87}, innovativo cemento con inglobate particelle fotocatalitiche che neutralizzano gli inquinanti atmosferici garantendo un bianco splendente e costante nel tempo.⁸⁸ Ancora in fase di prime sperimentazioni, i giochi di ombre che consente l'applicazione del LiTraCon[®], straordinaria evoluzione del calcestruzzo addizionato con fibre di vetro che si deve al giovanissimo architetto ungherese Áron Loconci (2001).⁸⁹ Durante i suoi studi presso la Royal University College of Fine Arts a Stoccolma, partendo da una ricerca sulle fibre ottiche, ha prodotto, supportato dalla Schott AG⁹⁰, due blocchi in calcestruzzo che trasmettono luce incidente. Il risultato è un calcestruzzo traslucido in blocchi composti di materiale lapideo frantumato, fibre di vetro, cemento e acqua. Appena presentato agli specialisti, LiTraCon[®], ha suscitato prevedibili entusiasmi: compatto e massivo, come si presenta solitamente la miscela di calcestruzzo, ora il materiale si lascia attraversare dalla luce.⁹¹ La più recente delle innovazioni del calcestruzzo apre, assieme alle tante miscele additivate con fibre organiche, nuovi orizzonti per la ricerca architettonica del III millennio, e in particolare nuove dimensioni percettive per l'involucro realizzato impiegando un calcestruzzo nuovo, protagonista dell'ennesima, e non ultima, sua mutazione.

⁸⁷ Per approfondimenti in merito al brevetto TX Millennium[®] consultare l'apparato A3 in allegato.

⁸⁸ Cfr. Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Leggerezza*, Roma, Gangemi Editore, 2006, p. 38.

⁸⁹ Cfr. AA.VV, *Architectures du béton. Nouvelles vague, nouvelles recherches*, a cura di Jean-Louis Cohen e G. Martin Moeller Jr, cit., p. 234.

⁹⁰ Gruppo tecnologico internazionale leader nel settore dei vetri.

⁹¹ Cfr. AA.VV, Áron Losonci. *Transparent Concrete*, in "Domus", n. 875, Editoriale Domus, novembre 2004.

2. Un'ipotesi di matrice di lettura critica delle realizzazioni

Il quadro proposto nel capitolo precedente restituisce, in chiave tematica e insieme cronologica, un'idea dell'evoluzione, nel tempo, dell'uso del calcestruzzo in quanto elemento di qualificazione formale ed espressivo dell'involucro architettonico. Questo obiettivo non appare centrale nella ricerca degli inizi del XX secolo, concentrata più sulle potenzialità strutturali del materiale. Nonostante ciò si osserva che anche quando gli elementi architettonici costituenti l'involucro rispondono esclusivamente a requisiti di natura statica si determinano risultati estetici in cui la qualità architettonica coincide con le qualità delle membrature strutturali, ciò avviene da un interesse che sembra privilegiare le potenzialità tecnico-strutturali del calcestruzzo. Si pensi al *textile block* attraverso cui Wright esplora le qualità plastiche del calcestruzzo intessendo e svuotando il blocchetto che comunque sia è prima di tutto elemento portante; o alle esperienze di Torroja, Candela, Nervi, Saarinen e altri autorevoli progettisti, che sperimentano spessori sottili, superfici monolitiche, spazialità continue, ma sempre rispetto al dato strutturale. E anche quando l'attenzione si sposta sul piano squisitamente espressivo, prima con Perret e poi con personalità come Kahn, Scarpa e Botta, l'aspetto strutturale risulta essere sempre sottinteso. Si dovrà aspettare l'immissione sul mercato delle miscele cementizie innovative, tra la fine del XX e inizi del XXI secolo, per assistere a una controtendenza, a un impiego del calcestruzzo spostato verso le possibilità esclusivamente espressive del materiale, eleggendo le varie tipologie di calcestruzzi di ultima generazione come dichiarato ed esplicito strumento di caratterizzazione formale dell'involucro.

I casi progettuali, scelti nel panorama internazionale del XX e XXI secolo, analizzati secondo le categorie formali precedentemente individuate, forniscono un'ipotesi di lettura trasversale della produzione architettonica testimone dell'impiego del calcestruzzo come carattere di qualificazione espressivo dell'involucro. Introducendo il dato temporale, i vari esempi si comparano e si intrecciano fornendo un quadro ordinato anche cronologicamente, che è qui proposto anche in forma di mappa grafica, come prospetto sinottico volto a documentare il progressivo palesarsi e intensificarsi dell'uso del calcestruzzo nella ricerca linguistico-formale. Si evidenzia come la

miscela cementizia, con le sue innumerevoli e continue mutazioni e recenti innovazioni, ha affiancato e continua ad affiancare il progetto dell'involucro facendosi interprete di modalità espressive che sembrano perseguire la novità e l'originalità. Opaco, traslucido e trasparente, sottile, intessuto da trame che seguono un disegno, traforato, svuotato al suo interno: sono questi gli aspetti attraverso cui il calcestruzzo prende forma nelle sperimentazioni più recenti che testimoniano il lungo e incessante lavoro della ricerca architettonica attraverso le tante miscele innovative.

QUADRO SINOTTICO

0



Casa in rue de Franklin
Perret, Parigi



Theatre des Champs-Elysees
Perret, Parigi



Chiesa Notre Dame
Perret, Raincy



Mercato di Algeciras
Torroja



Chiesa di S. Francesco d'Assisi
Niemeyer, Pampulha



Chiesa di Saint-Joseph
Perret, Le Havre



Palazzo del Parlamento
Niemeyer, Brasilia



Sede del Parlamento
Kahn, Dacca



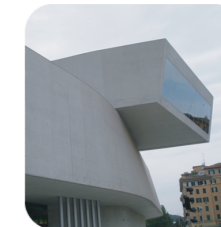
Cultural Center
Niemeyer, Le Havre



Salle de rock « Stadium »
Ricciotti, Vitrolles



Performing Arts Center
Ito, Tokyo



MAXXI
Hadid, Roma

5



Garage in rue de Ponthieu
Perret, Parigi



La Miniatura
Wright, Pasadena



Aviorimessa
Nervi, Orbetello



Unité d'Habitation
Le Corbusier, Marsiglia



Hôtel de Ville
Perret, Le Havre



Cattedrale
Niemeyer, Brasilia



Sede FATA
Niemeyer, Segrate



Casa a Morbio Superiore
Botta



Centre Chorégraphique National
Ricciotti, Aix en Provence



Padiglione Italiano
Imbrighi, Shanghai

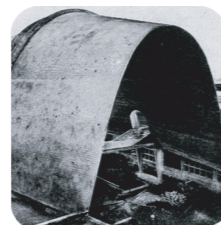
10



Unity Temple
Wright, Chicago



Ennis House
Wright, Los Angeles



Zementhalle
Maillart



Palazzetto dello Sport
Nervi, Roma



Terminal TWA
Saarinen, New York



Tomba Brion
Scarpa, San Vito d'Altivole



RATP Bus Center
ECDM, Thiais



LAM
Gautrand, Villeneuve d'Ascq



Musée des Travaux Publics
Perret, Parigi



Los Manantiales
Candela, Xochimilco



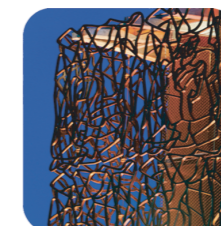
Salk Institute
Kahn, LaJolla



Casa a Massagno
Botta



Biblioteca Universitaria
Herzog&deMeuron, Eberswalde



Les Enfants du Paradis
Ricciotti, Chartres



MUCEM
Ricciotti, Marsiglia

1900

1920

1940

1960

1980

2000

PARTE II
TEMI PROGETTUALI

PARTE II

TEMI PROGETTUALI

3. I calcestruzzi di ultima generazione nella declinazione di nuovi linguaggi architettonici

Fin dai primi anni del XX secolo, il calcestruzzo è stato oggetto di numerose innovazioni, di un incessante processo di trasformazione che lo ha migliorato “nelle sue virtualità espressive”⁹² e che a tutt’oggi è tutt’altro che esaurito. Nel tempo, infatti, il materiale, come un brevetto mai chiuso, ha esteso le sue caratteristiche intrinseche, mutato le modalità di messa in opera e raggiunto differenti esiti formali, diventando “materia” di qualificazione del progetto architettonico, alimentando la riflessione sulla sua versatilità.⁹³

Oggi la ricerca architettonica contemporanea, amministrando con cura le esperienze e le conquiste del novecento, muove verso nuove tendenze e orientamenti; il calcestruzzo entra nel repertorio contemporaneo attraverso i brevetti di ultima generazione e torna a ispirare ulteriori e inedite espressioni architettoniche. Il mercato produttivo attuale offre una serie di differenti calcestruzzi progettati “su misura”⁹⁴; le proprietà finali dei materiali cementizi

⁹² Sicignano, Enrico, *Architetture in cemento armato*, Napoli, Clean Edizioni, 2007, p. 155.

⁹³ Cfr. Poretti, Sergio, *I miracoli della pietra fusa*, in “Area”, n. 115, Milano, Motta Architetture, 2011, pp. 4-11.

⁹⁴ Manzini, Ezio, *La materia dell’invenzione*, Milano, Arcadia Edizioni, 1986, p. 38.

vengono definite progettando la miscela alla nanoscala⁹⁵ garantendo la sua analisi e controllo, ottenendo eccellenti proprietà meccaniche e fisico-chimiche che registrano anche una diretta ricaduta sugli esiti espressivi. Dal calcestruzzo autocompattante (SCC, Self Compacting Concrete), al calcestruzzo ad alte prestazioni (HPC, High Performance Concrete), al calcestruzzo fotocatalitico, l'offerta è davvero molto ampia: sono miscele dotate di nuove consistenze, prestazioni e mirate proprietà, che partecipano al processo compositivo spesso definendone le scelte figurative e formali.

I calcestruzzi ad altissime prestazioni (UHPC, Ultra High Performance Concrete), appartenenti alla famiglia delle miscela cementizia a polvere reattiva (RPC, Reactive Powder Concrete), mostrano come la prestazione e le possibilità meccaniche del materiale ne estendano la "forza" espressiva, rivelando una maggiore e nuova libertà strutturale che permette di esplorare qualità linguistiche legate a elementi sempre più esili e modellabili plasticamente, introducendo il concetto di "reticolo" portante per l'involucro.⁹⁶ Il calcestruzzo autocompattante, invece, lavora su forme continue prive di imperfezioni dalle sagome sempre più complesse, garantendo soluzioni di monoliticità e continuità su grandi dimensioni; il suo impasto molto fluido, privo di segregazione e addizionato con speciali superfluidificanti, garantisce un'ottima qualità superficiale e un'elevata durabilità rendendolo ottimale per opere di forma complessa a elevata congestione di armature. Valori molto alti di resistenza a compressione e flessione, duttilità, resistenza all'abrasione e agli agenti atmosferici, modellabilità e notevole diminuzione delle sezioni, sono invece le caratteristiche che contraddistinguono i calcestruzzi fibrorinforzati (FRC, Fiber Reinforced Concrete), materiali compositi dotati di agenti rinforzanti costituiti da fibre di diversa natura (sintetica, vitrea, metallica, etc.). Oggi la sperimentazione è concentrata sulle manipolazioni dei materiali alla nanoscala, pertanto le possibili mutazioni del calcestruzzo e le future possibili ricadute espressive sull'architettura sono davvero difficili da immaginare. Le ricerche tecnologiche attuali più interessanti, che riguardano i calcestruzzi di ultima generazione, si concentrano proprio sulle proprietà che indagano la

⁹⁵ Cfr. voce in glossario, apparato A1.

⁹⁶ Cfr. Leone, Mattia, *Le prestazioni del cemento potenziate attraverso le nano proprietà*, in "Modulo", n. 365, Milano, Be-Ma Editrice, 2010, pp. 1013-1032.

dimensione percettiva del materiale; termini come *duttilità*, *tenacità*, *espressività* e persino *trasparenza* sono solo alcuni dei nuovi attributi acquisiti dal calcestruzzo, che continua così a persuadere l'architettura a ridefinire i suoi impieghi, a esplorare e indagare le sue potenzialità, per arricchire così il suo repertorio espressivo.

Di seguito si approfondisce la questione dell'impatto delle miscele di calcestruzzo di ultima generazione nella ricerca formale sull'involucro architettonico, attraverso una ricognizione critica compiuta analizzando le esperienze progettuali più significative del panorama internazionale contemporaneo ai fini della definizione di nuovi e inattesi orizzonti espressivi. L'obiettivo è quello di sottolineare come all'innovazione dei calcestruzzi di ultima generazione corrisponda un maggiore impiego delle varie miscele cementizie in quanto fattore di caratterizzazione formale dell'involucro architettonico più di quanto non sia accaduto in passato. La trattazione si propone secondo una chiave critica che mette a sistema la tipologia di miscela cementizia, sottolineandone il dato innovativo indotto e l'esito atteso, formulando un'ipotesi di metodo che consiste nel rintracciare eventuali corrispondenze tra il criterio di approccio progettuale e la scelta di un determinato calcestruzzo in vista di specifici obiettivi espressivi prefigurati.

4. Rapporto tra miscele innovative ed esiti progettuali

Guardando in sequenza alle sperimentazioni condotte dai primi pionieri dell'uso del cemento armato, Perret, Nervi, Michelucci, Musmeci, fino a quelle più recenti condotte da Alvaro Siza, Cecil Balmont, Toyo Ito, Zaha Hadid, si coglie una progressiva volontà di sfidare quelle che sono le caratteristiche intrinseche del calcestruzzo, tradizionalmente percepito come materiale pesante e opaco, vincolato alle rigide leggi statiche e a sistemi costruttivi che non permettevano di rinnovare il suo repertorio formale ed espressivo. Oggi lo sviluppo di materiali cementizi di nuova generazione, caratterizzati da proprietà innovative e dall'affidabilità delle prestazioni, stimola la ricerca architettonica muovendo verso esiti di particolare interesse. Miscele innovative, arricchite di polveri reattive e di magici additivi, e dalla granulometria degli inerti sapientemente progettata, sono pronte a valorizzare le vocazioni tradizionali del calcestruzzo, che continua a trovare nell'involucro occasione privilegiata di sperimentazione e indagine delle sue qualità espressive, dando vita a nuove e inaspettate interpretazioni.

Materiale camaleontico per eccellenza, il calcestruzzo cambia continuamente le sue sembianze; grazie al progresso tecnologico, attraverso una vasta gamma di prodotti per l'edilizia con caratteristiche prestazionali sempre più spinte, soddisfa le esigenze di ingegneri e architetti, che orientano e indirizzano la ricerca ora verso l'esaltazione strutturale, ora verso una plasticità formale o una nuova dimensione percettiva. La volontà d'indagare le potenzialità del materiale attraverso il progetto dell'involucro, nonostante sia passato più di un secolo dalle prime esperienze, non si sopisce, ma continua a manifestarsi, a mutare, fino a riconsiderare, la stessa concezione dell'involucro, che da elemento di confine, di separazione tra interno ed esterno, si apre verso nuove interpretazioni, verso una rinnovata materialità.

Oggi le singole miscele hanno ciascuna una propria attitudine, caratteristiche proprie che intervengono attivamente nelle diverse fasi del processo progettuale, traducendosi in precisi esiti formali per l'involucro. E così i calcestruzzi dalle alte caratteristiche prestazionali, che raggiungono resistenze quasi paragonabili all'acciaio, presentano l'involucro nella sua efficacia e prestantza fisica tracciando per esso nuove trame strutturali, estendendone le

tradizionali e consolidate capacità statiche; l'autocompattante, che fluidifica le forme, dà vita a sagome complesse, sinuose, perfettamente levigate e continue, esaltando l'involucro nella sua monoliticità e forza volumetrica; l'autopulente, a base di biossido di titanio noto come "mangia smog", in grado di sbiancare le superfici, restituisce un aspetto immutabile nel tempo, mostrando, al contempo, un'attenzione ai temi ambientali; il calcestruzzo rinforzato con fibre "alleggerisce" la materia, minimizza la massa allontanandola sempre più dall'immagine opaca e pesante, fino a renderla traslucida e a smaterializzarsi quasi nello spazio.

Alcuni esempi scelti tra i più significativi nel panorama della produzione architettonica contemporanea rivelano la possibilità di declinare nuovi linguaggi per l'architettura in cui il progetto dell'involucro si pone come presidio di sperimentazione, di indagine in funzione dell'esito espressivo atteso. A partire da questo assunto, la trattazione sviluppata nei paragrafi seguenti intende porre in relazione le singole miscele innovative immesse nel mercato e sperimentate con gli esiti progettuali attesi, dimostrando così l'esistenza di un rapporto di biunivoca reciprocità che sta ormai affermandosi nel panorama della ricerca architettonica e che vede la scelta della miscela legata al perseguimento di un preciso esito espressivo, e dunque la volontà progettuale alla scelta della miscela da impiegare.

Pertanto la lettura parte dai calcestruzzi fotocatalitici, investigando come l'azione autopulente e sbiancante della miscela cementizia possa diventare parametro nella qualificazione estetica dell'involucro; continua con i calcestruzzi ad alte prestazioni che restituiscono un involucro che perde massa, si smaterializza fino a ridursi a trama strutturale, reticolo accuratamente disegnato in grado di rispondere a pieno ai requisiti strutturali; procede con i calcestruzzi autocompattanti che invece esplorano nuove forme sagomate, fluide e sinuose per l'involucro; fino ai calcestruzzi fibrorinforzati che, pur appartenendo alla classe delle miscele cementizie ad alte prestazioni, aprono orizzonti espressivi che non privilegiano il carattere strutturale dell'involucro, ma l'aspetto materico e percettivo, proiettando l'involucro perfino verso la "trasparenza". Infine si introduce il tema del trattamento dell'epidermide

dell'involucro, chiarendo come le innovative tecnologie di lavorazione superficiale conducono a rinnovate versioni del brutalismo.

I calcestruzzi fotocatalitici. Sostenibilità e “bianco splendore”

“Si apprezzano di più i colori, i riflessi le stagioni, il mutare dell’atmosfera, i passaggi cromatici, il sole. Aiuta a rendere più leggibili le linee, gli spazi(...) ci rende consapevoli delle cose che ci circondano”

Richard Meier

La parola cemento rimanda spesso al concetto di cementificazione, immagine simbolo dell’azione dell’uomo contro l’ambiente naturale. Oggi questo atteggiamento è sul punto di essere definitivamente smentito. Nelle ricerche scientifiche e industriali più recenti, il cemento armato svela proprietà esattamente opposte, simili a quelle delle foglie vegetali: attraverso l’introduzione di opportuni componenti si innesca un processo chimico che combatte l’inquinamento ambientale, proprio come accade per la fotosintesi clorofilliana. Favorita dalla nanotecnologia⁹⁷, la ricerca nel settore, portata avanti dal gruppo italiano Italcementi, si è concentrata sui calcestruzzi fotocatalitici definiti “mangia smog”, capaci di rivoluzionare l’approccio alla costruzione e all’ambiente. La società è impegnata attivamente in una direzione di ricerca proiettata verso un’architettura sostenibile, fin dal 1996, anno di deposito del brevetto Tx Millennium[®], al quale nel tempo si sono aggiunti calcestruzzi che, oltre ad avere proprietà autopulenti, rivendicano la capacità di abbattere gli agenti inquinanti presenti nell’aria grazie alla fotocatalisi. Un manufatto confezionato con un calcestruzzo fotocatalitico di questo tipo è composto da biossido di titanio, in dimensioni nanoparticellari, opportunamente disperso nella miscela. Con l’irradiazione solare, il semiconduttore interagisce con l’acqua e l’ossigeno presenti favorendo la formazione di specie radicaliche fortemente ossidanti. Sono queste a “bruciare” gli ossidi di azoto e i composti organici volatili, che filtrano attraverso la superficie porosa del calcestruzzo e vi restano intrappolati abbastanza a lungo

⁹⁷ Cfr. voce in glossario, apparato A1.

da consentire l'ossidazione. I prodotti acidi creati durante il processo si lavano con la semplice azione dell'acqua piovana, oppure si combinano con il carbonato di calcio alcalino contenuto nel cemento neutralizzandosi e trasformandosi in sali innocui. Le ricerche condotte in questi anni hanno dimostrato che il calcestruzzo fotocatalitico è efficace nell'abbattimento di composti organici e inorganici, volatili e clorurati, composti aromatici policondensati, ma anche microbi e batteri. Il tutto a temperatura ambiente e pressione normale, utilizzando nel processo la risorsa energetica più economica, pulita e rinnovabile di cui si dispone: la luce solare. Naturalmente il prodotto fotoattivo ha un costo maggiore dei calcestruzzi tradizionali, ma le potenzialità autopulenti ne rendono competitivo l'impiego se si riflette anche sulle spese di manutenzione. La fotocatalisi, infatti, agisce impedendo il deposito di quei composti organici responsabili del danneggiamento delle superfici, mantenendo inalterato nel tempo l'aspetto di "bianco splendore". La ricerca architettonica contemporanea si lascia, a ragione, affascinare dalla prospettiva che una superficie possa mantenere inalterato il suo aspetto, che un materiale, come il calcestruzzo possa essere soggetto attivo nella sostenibilità ambientale.

La **Chiesa Dives in Misericordia di Tor Tre Teste**⁹⁸ a Roma (2003), progettata da Richard Meier, è la prima occasione in cui si sperimenta un calcestruzzo fotocatalitico. Il vincolo formale prioritario è l'assenza programmatica del colore e la durabilità dell'aspetto nel tempo. Per le tre vele, costituenti parte dell'involucro, né l'impiego di un intonaco come rivestimento, né un calcestruzzo bianco ottenuto dall'aggiunta d'inerti derivati dalla macinazione del marmo di Carrara, poteva soddisfare a pieno l'esigenza del progettista.⁹⁹ Meier, con la collaborazione del gruppo di ricerca dell'Italcementi, per la sua nuova chiesa romana, ha stimolato l'invenzione del Tx Millennium[®], appartenente alla famiglia dei calcestruzzi fotocatalitici ad alta resistenza. L'ideazione e la composizione del progetto definisce quali prestazioni la nuova miscela deve soddisfare sia in termini estetici che tecnici. In una zona connotata da edifici di edilizia popolare, priva di punti focali, di

⁹⁸ Cfr. Falzetti, Antonella, *La chiesa Dio Padre Misericordioso*, Roma, Ed. Clear, 2003.

⁹⁹ Cfr. Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Leggerezza*, cit., p. 38.



39. Chiesa Dives in Misericordia, Meier, Roma, 2003

spazi dedicati alla socialità, la chiesa s'impone con l'altezza delle sue vele (26m la maggiore) e il bianco assoluto delle superfici murarie. Per evitare l'utilizzo di un'ossatura d'acciaio rivestita da pannelli di tamponamento bianchi, soluzione non durevole nel tempo, le vele autoportanti sono state suddivise in grandi pannelli prefabbricati a doppia curvatura, i "conci", ciascuno del peso di 12 tonnellate. Per la messa in opera è stato studiato e realizzato un sofisticato carro ponte scorrevole su rotaie radiali alle vele, che ha permesso di posizionare i pesanti conci in modo esatto, mantenendoli immobili durante la fase di ancoraggio alla parte di struttura già realizzata. Le tre vele, a lavori terminati, restituiscono insieme una continuità strutturale che si traduce in monoliticità espressiva: ciascuna vela, in fase di collaudo e prove finali, anche se formata da più conci assemblati, presentava il comportamento caratteristico di un corpo omogeneo ed elastico. La bianca, elegante,



40. Chiesa Dives in Misericordia, Meier, Roma, 2003

simbolica, ipertecnologica, chiesa di Meier, è solo una delle prime esperienze progettuali che fanno dell'impiego di un calcestruzzo fotocatalitico occasione di sperimentazione, determinando le qualità linguistiche e prestazionali.¹⁰⁰ Il gruppo Italcementi è impegnato attivamente nella ricerca di un sempre più efficace abbattimento delle sostanze inquinanti ed effetto autopulente, sviluppando componenti della gamma Tx Active®.

Per la **Sede Air France, Aeroporto Roissy Charles de Gaulle** a Parigi, progettata dall'architetto Denis Vallode con Jean Pistre nel 2006, edificio che ospita la prestigiosa sede della compagnia di bandiera francese, Air France, si è utilizzata una finitura grezza trattata con TX Active®. L'omogeneità della tinta

¹⁰⁰ Cfr. La Creta, Rosalba e Alini, Luigi, *Innovazione tecnologica e innovazione formale nell'architettura: l'evoluzione delle costruzioni in calcestruzzo armato*, Atti del Secondo Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 7-8-9 aprile 2008, pp. 319-330.

della facciata nel tempo è l'esito raggiunto, richiesto per la forte concentrazione di idrocarburi prodotta dal passaggio continuo degli aeromobili. Nel progetto dell'**Hotel de Police** a Bordeaux in Francia, per contrastare le aggressioni alla qualità estetica dell'edificio degli agenti inquinanti organici tipici delle aree fortemente urbanizzate, l'architetto Claude Marty ha scelto di utilizzare il cemento a base TX Active® per realizzare i pannelli della facciata prefabbricati in calcestruzzo bianco levigato. Sono esperienze che rivelano l'incessante processo d'innovazione sia della miscela, che non smette mai di porsi limiti, sia delle tecnologie di messa in opera; ogni progetto sfrutta a pieno le esperienze precedenti, intese come guida e traguardi via via superabili.

I calcestruzzi ad alte prestazioni. Tessitura strutturale dell'involucro architettonico

“Nous entrons dans une nouvelle ère industrielle. Les architectes sont comme des pilotes d'essai en bout de piste, prêts à se lancer... Nous passons du moteur à hélice au réacteur”

Rudy Ricciotti

La materializzazione delle linee di forza interne all'organismo architettonico trasformate in forma visibile è uno dei principi cardine di quel “costruire correttamente”¹⁰¹ che ha contraddistinto le più alte opere dell'ingegneria italiana; che ha sancito un dialogo tra la struttura e la sua forma. Nel secondo dopoguerra, la conoscenza sul cemento armato combinata all'audacia di progettisti ingegneri, ha generato una particolare sensibilità verso l'immagine degli elementi strutturali, che assumono significato e forza grazie alle plasmabilità e stabilità delle miscele cementizie, attenzione questa che oggi è portata avanti dalla ricerca architettonica attraverso i calcestruzzi a elevate caratteristiche di resistenza .

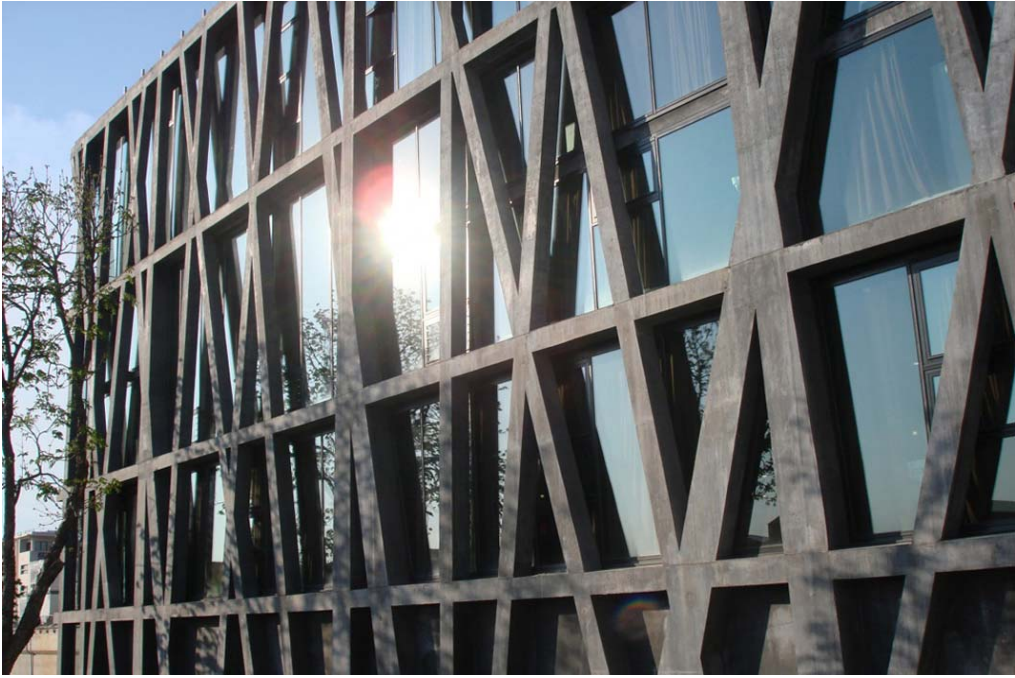
I calcestruzzi UHPC, o Ultra-high performance concrete, presentano un rapporto acqua/cemento estremamente basso, inferiore allo 0,4; con l'aggiunta di reattivi pozzolanici come la polvere di silicati o il metacaolino e di inerti fini

¹⁰¹ Nervi, Pier Luigi, *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, cit., p. 1.

(fino 0,5mm) o grossi (fino a 16mm), raggiungono una resistenza di compressione di 150 N/mm^2 (nel calcestruzzo tradizionale varia da 20 a 50 N/mm^2). Ai calcestruzzi ad altissime prestazioni si accostano anche quelle miscele additivate da fibre di acciaio (UHFRC, Ultra-high fiber reinforced concrete), in quanto la ricaduta nel progetto è proprio una maggiore prestazione statica, mentre a una trattazione nei paragrafi successivi è rimandata l'analisi dei calcestruzzi con fibre organiche o di vetro impiegati maggiormente per esiti esclusivamente espressivi. Gli alti valori prestazionali consentono la riduzione della massa strutturale oltre che dell'armatura, e di conseguenza favoriscono l'incremento di superficie utile costruita; i requisiti, poi, di resistenza strutturale e di resistenza agli agenti atmosferici ne fanno un materiale da costruzione per grandi opere. L'aggiunta di speciali additivi ha aperto nuove prospettive che ampliano notevolmente l'applicabilità dell'UHPC, che può raggiungere una capacità di resistenza a compressione fino a 800 N/mm^2 , anche se il probabile settore di applicazione è circoscritto ad una resistenza di 300 N/mm^2 . Questo dato tecnico si traduce in un'estrema affidabilità dei calcestruzzi ad altissima resistenza che svincolano il progettista da preoccupazioni statiche a favore di una maggiore sperimentazione formale, generando involucri a ridotta sezione strutturale costituiti da macro-trame che avvicinano sempre più il segno grafico al segno architettonico. Pertanto, alleggerito dalle limitazioni statiche, l'involucro si proietta verso nuove composizioni, perde massa, si riduce "pelle e ossa" mettendosi a nudo, alla vista di tutti.

È il caso della maglia in calcestruzzo nero pensata per l'involucro del **Centro Coreografico Nazionale**, Aix en Provence, progettato da Rudy Ricciotti nel 2002.¹⁰² Uno scheletro in calcestruzzo a geometria variabile, una struttura portante che appare come una pelle traforata che rimanda l'idea di un'opera non scrupolosamente finita. Lo scrigno in calcestruzzo e vetro ribalta le tradizionali corrispondenze tra struttura/ossatura, pelle/involucro, manifestando in modo evidente la componente strutturale declinata dalla rete portante fatta di nastri di calcestruzzo che avvolgono l'anima in vetro dell'edificio. Ma il "*bâtiment bondé*", come lo definisce Ricciotti, il "piacere solitario" che sembra emanare dal rapporto di soggezione tra ingabbiatura e corpo interno è il

¹⁰² Cfr. Preljocaj, Angelin e Ricciotti, Rudy, *Papillon Noir*, Ed. Xavier Barral, 2006.



41. Centro Coreografico Nazionale, Ricciotti, Aix en Provence, 2002

risultato di un percorso matematico ferreo; la dimensione del calcolo ha permesso di superare i diversi condizionamenti che si imponevano alla messa a punto dell'idea di progetto. Un cubo di 18x36m calato in un'area limitata, solai a portata unica per favorire l'attività dei ballerini, movimento vibratorio dei danzatori, natura sismica del terreno, falda freatica che si alza dal sottosuolo e va a interferire con la sala degli spettacoli a livello interrato e vicinanza della rete ferroviaria con lo stridore dei treni a fine corsa. L'edificio si è definito a partire dall'accettazione di queste condizioni di difficoltà, si è imposto ad esse con l'impiego di una miscela affidabile, dalle alte prestazioni meccaniche. Gli elementi in calcestruzzo che definiscono l'involucro hanno una larghezza variabile e assorbono sforzi diversi: l'ultimo piano assorbe solo quelli relativi al peso proprio dell'ultima piastra con i rispettivi sovraccarichi, mentre il piano terreno riceve i pesi di ogni piastra aumentata dai sovraccarichi degli sforzi accumulati in facciata. Come spiega lo stesso Ricciotti:



42. Veduta interna, Centro Coreografico Nazionale, Ricciotti, Aix en Provence

“Les structures en béton ont toutes des largeurs variables et prennent des efforts différents. Le dernier étage ne prend que le poids propre de la dernière dalle augmentée des surcharges alors que le rez-de-chaussée prend le poids propre de chaque dalle augmentée de chacune des surcharges des efforts cumulés des façades. C’est-à-dire que la différence de mise en compression entre le rez-de-chaussée et le dernier étage est énorme. Voilà ce qui justifie des structures à géométrie variable. Cette variable s’augmente des efforts relatifs aux déformations sismiques”

Un edificio che rilegge la spesso abusata trasparenza, il “mettersi a nudo”; un edificio che parla di rigore matematico, di razionalità statica, di superamento di ogni vincolo meccanico e fisico, di economia, un progetto in cui è stato ridotto al minimo l’apporto della materia, il tutto è stato ridotto a “pelle e ossa”.¹⁰³

¹⁰³ Cfr. Boudet, Dominique, *Dance Centre*, in “AMC: Beton. Architecture in Concrete”, Le Moniteur, 2010, pp. 44-49.



43. Simmons Hall, Holl, Cambridge, 2002

Nel 2002 Steven Holl progetta l'edificio della **Simmons Hall**, dormitorio del Massachusetts Institute of Technology (MIT) a Cambridge, concepito come una fetta di città sviluppata in verticale su dieci piani e lunga oltre 100m. Data la particolarità del lotto, stretto e lungo, per evitare la costruzione di un blocco compatto, che chiudesse con la sua imponenza la libera circolazione d'aria e la visuale sul Charles River che scorre al margine del campo, Holl ha studiato un edificio "poroso", con una pelle traspirante e con grandi aperture sul paesaggio. Pensata come una spugna, la costruzione è definita esternamente da pareti caratterizzate da più di 3000 piccole aperture quadrate che fungono da finestre, intervallate da aperture più grandi in corrispondenza dei servizi comuni, degli ingressi e degli spazi all'aperto. Questi grossi buchi, ritagliati all'interno della compatta maglia delle facciate, rompono la monotonia del blocco residenziale e proseguono, come morbide voragini all'interno dell'edificio, individuando e caratterizzando, con le curve irregolari del cemento nudo con cui sono realizzate, gli spazi destinati alle attività collettive. La pelle traspirante



44. Torre Tod's, Ito, Omotesando, 2004

dell'edificio è stata realizzata con il sistema “Perfcon”, inventato dall'ingegnere Guy Nordenson, che incorpora nello stesso elemento prefabbricato in cemento armato di 45cm di spessore, finestre quadrate di 60cm di lato, pareti e strutture portanti. Questo procedimento unico determina il ritmo secondo cui vengono disposte le murature, sia interne sia esterne, così da farne un aspetto distintivo del progetto. Le stanze per gli studenti sono raggruppate in diverse unità abitative e ciascuna camera ha delle dimensioni piuttosto ampie che si rispecchiano in facciata con un modulo di tre finestre per tre. Le finestre, tutte apribili, permettono di regolare la ventilazione all'interno delle stanze e inondano gli ambienti di luce, inoltre lo spessore del muro perforato, come un grande brise-soleil, impedisce ai raggi solari estivi di entrare mentre lascia passare quelli invernali diversamente angolati.¹⁰⁴

¹⁰⁴ Gannon, Todd e Demson, Michael, *Steven Holl: Simmons Hall. Serie Source Books*, Princeton Architectural Press, 2004.

Una superficie traforata senza sostegni interni, una pelle intrecciata è invece l'involucro della **Torre Tod's** a Omotesando di Toyo Ito a Tokyo (2004). La torre di sette piani a L si manifesta come una struttura che non trasmette opacità, solidità piena, ma una sorta di "trasparenza opaca"¹⁰⁵, in cui calcestruzzo ad alta resistenza e vetro diventano un unico materiale e la parete, la struttura e le aperture concorrono insieme a un unico esito figurativo. La pelle esterna è dello spessore di 30cm, un reticolo di tiranti in calcestruzzo e una superficie vetrata senza interruzioni; la struttura che ne risulta è in grado di supportare solette della lunghezza di 10-15m senza l'utilizzo di colonne interne. La facciata intrecciata reinterpreta la silhouette degli alberi di olmo delle strade di Omotesando, che si assottiglia e si infittisce in altezza, variando il rapporto con la luce naturale. L'intreccio dinamico e organico dei rami in calcestruzzo genera ben 270 aperture, ciascuna con una geometria propria, tamponate da vetri fissati senza intelaiatura direttamente nel calcestruzzo in modo da esaltarne la materialità. Il disegno delle armature restituisce la complessità tecnica, nessun elemento è uguale a un altro, nessuna delle armature può essere riutilizzata. Leggero, trasparente, immateriale, come liberato dal rigore delle regole strutturali, la trama intrecciata di Ito rilegge l'elemento strutturale costituente l'involucro come un'organizzazione naturale delle forze in gioco, "*!rejecting the obvious distinctions between walls and openings, lines and planes, two- and three- dimensions, transparency and opaqueness*"¹⁰⁶. L'esito linguistico è un involucro che sembra sospeso in un rapporto indefinito tra interno ed esterno, che ricerca e scopre relazioni opachi-trasparenti tra gli spazi, instaurando un rapporto del tutto nuovo con il tessuto urbano circostante.¹⁰⁷

E ancora il reticolo curvo dell'**Hypergreen**¹⁰⁸ di Jacques Ferrier pensato, in collaborazione con il gruppo francese Lafarge, in calcestruzzo ad altissime prestazioni rinforzato con fibre metalliche, restituisce una struttura data

¹⁰⁵ Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Leggerezza*, cit., p. 79.

¹⁰⁶ AA.VV, *Edificio TOD'S Omotesando*, in "El croquis: Toyo Ito 2001/2005", n. 123, Madrid, DLH Gráfica, 2005, p. 35.

¹⁰⁷ Cfr. Toyo Ito, *Tre trasparenze*, Tokyo, Nuno Nuno Books, 1997.

¹⁰⁸ Il progetto, presentato in forma di prototipo nel 2010 in collaborazione al gruppo francese Lafarge, è una proposta progettuale rivolta alle grandi città del futuro.

dall'assemblaggio di elementi prefabbricati che assicurano inoltre il controllo solare ottimizzando il passaggio della luce naturale e garantiscono, grazie alle caratteristiche di resistenza alla trazione come alla compressione e una duttilità eccezionale del materiale, la stabilità orizzontale della torre. Un involucro elegante, dalla forte espressività, leggero, per l'esilissimo spessore della maglia, dalla forma complessa in grado di garantire una resistenza eccezionale.

L'architetto uruguayano, Rafael Viñoly, nel progetto dell'**ATLAS Building** presso l'università di Wageningen in Olanda (2007) sintetizza nella mineralità e plasticità di un volume monolitico le ambizioni del programma funzionale e i condizionamenti di un piano urbanistico che richiedeva un edificio compatto. Sensibile e attento alle più moderne tecnologie, Viñoly parte da una forma elementare per ribaltare il concetto stesso di scheletro costruttivo e portare all'esterno la struttura dell'edificio. Il tessuto alveolare che dà grazia e carisma al nuovo centro, non è infatti una semplice pelle che maschera; l'ingabbiatura della struttura reticolare esterna, dalla geometria rigorosa, impreziosisce e identifica infatti la scatola in calcestruzzo che è struttura portante e garantisce la flessibilità degli spazi interni. La plasticità del disegno della griglia regolare diviene icona del campus universitario sdoppiandosi in un gioco di riflessi nell'acqua del lago vicino e dando luce e aria agli ambienti di studio e ricerca.¹⁰⁹

I calcestruzzi autocompattanti. Forme sagomate, fluide e sinuose

Il calcestruzzo autocompattante (SCC) è definito dalla norma UNI 11040 come un calcestruzzo omogeneo che viene messo in opera e compattato senza intervento di mezzi esterni (vibrazione) ma per effetto della sola forza gravitazionale. Oltre a soddisfare i requisiti di resistenza meccanica, il calcestruzzo autocompattante ha la specifica proprietà, allo stato fresco, di un'elevata fluidità con assenza di segregazione. La giusta combinazione fra coesione, viscosità e fluidità, che garantisce al calcestruzzo fresco deformabilità, resistenza alla segregazione e all'essudazione d'acqua, è la

¹⁰⁹ Cfr. AA.VV, *Tectonica. Hormigòn (III)*, n. 25, cit., p. 72.



45. Phaeno Science Center, Hadid, Wolfsburg, 2005

condizione indispensabile per confezionare un calcestruzzo capace di diffondersi fra le armature più fitte e di riempire in modo omogeneo le casseforme. Senza bisogno di vibrazione e quindi senza i conseguenti microvuoti, il calcestruzzo superfluido garantisce una densità inusuale, un dinamismo e una plasticità che favoriscono forme sinuose in grado di muoversi nello spazio generando una precisione nelle superfici lontana tanto dal trattamento a faccia a vista nel significato e negli esiti della tradizione modernista, quanto dal freddo perfezionismo di Tadao Ando.¹¹⁰ Lo sviluppo delle tante formulazioni di calcestruzzo autocompattante, emesse oggi sul mercato, permette certamente di ottenere risultati eccellenti che prima erano impensabili. Attraverso l'impiego di questo calcestruzzo come unico elemento costruttivo, unico materiale strutturale, fluido, materia naturale ed espressiva, l'organismo architettonico può emergere con decisione, affermare la propria

¹¹⁰ Cfr. Andriani, Carmen. *Le forme del cemento: Plasticità*, cit., pp. 28-35.



46. Le superfici coniche inclinate, Phaeno Science Center, Hadid, Wolfsburg

identità e con la sua massa sottolineare la sua presenza visiva, giocando sull'alternanza volumetrica di masse piene e monolitiche o di scavi, sottrazioni a contrasto della materia compatta.¹¹¹

Il profilo filante e sinuoso dell'involucro poroso del **Phaeno Science Center** di Zaha Hadid (2005) è la prima occasione in cui l'architetto anglo-irachena sperimenta l'uso del calcestruzzo autocompattante gettato in opera.¹¹² Fino ad allora, il calcestruzzo non vibrato era stato usato per elementi prefabbricati, ma non per un edificio di questa entità (in tutto sono stati adoperati 67.000mq di cassaforme); eppure il risultato, nella sua precisione, appare pressoché perfetto. Il calcestruzzo impiegato consente di realizzare in una volta sola, senza riprese,

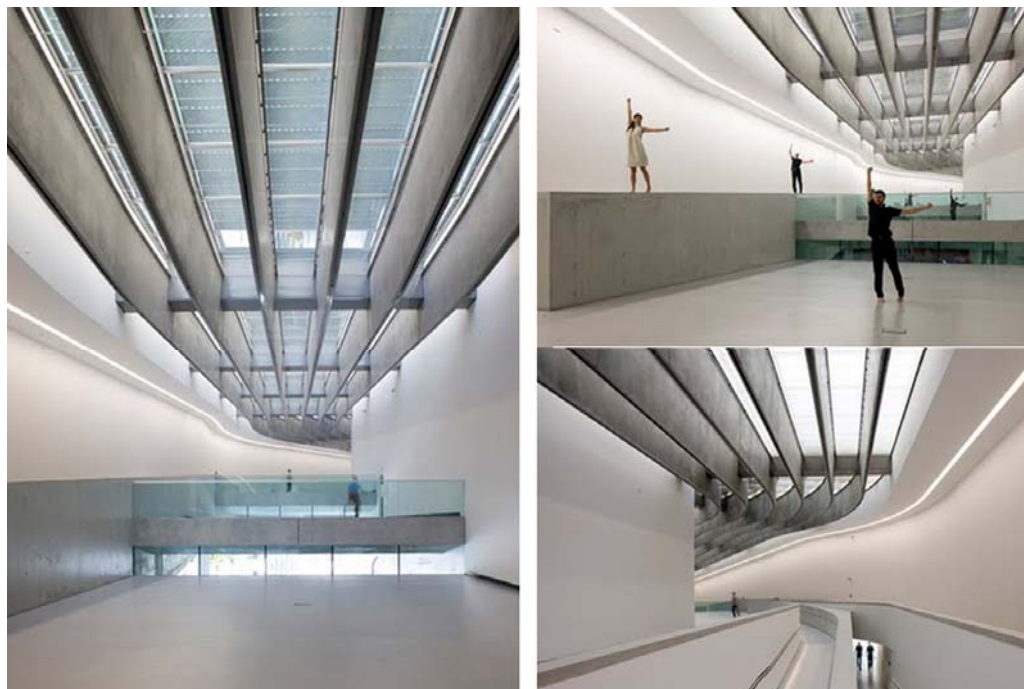
¹¹¹ Cfr. Pia, Luciano, *L'opinione di Luciano Pia*, in "Detail: Costruire con il cemento", n. 48, Editore DETAIL, 2008, p. 2.

¹¹² Cfr. Tchou, Donata, "Sotto e dentro il monolite. Phaeno Science a Wolfsburg", in *Le forme del cemento: Plasticità*, a cura di Carmen Andriani, cit., pp. 38-40.



47. Museo Nazionale delle Arti del XXI secolo, Hadid, Roma, 2010

gettate di altezza pari a 10m, con una profondità anche di soli 20cm, senza lasciare linee di ripresa del getto. L'esito formale restituito è un insieme di superfici coniche pericolosamente inclinate, sostenute da una lastra quadrangolare sospesa a otto metri dal suolo, mentre i tagli netti, dagli spigoli affilati, delle bucaure definiscono un involucro concavo e convesso; un volume monolitico, ma non imponente, definito meticolosamente, quasi come se fosse uscito dallo stampo. Gli scultorei coni di calcestruzzo, posti sotto il ventre cavernoso dell'edificio, hanno imposto la progettazione di ben 709 casseforme in legno prodotte a 20 Km dal cantiere, ognuna diversa dall'altra, comportando uno studio aggiuntivo e un calcolo sofisticato oltre che un costante controllo durante la fase del getto. La progettazione delle casseforme e del loro andamento rappresenta il primo e indispensabile elemento per ottenere spigoli precisi e superfici omogenee in strutture di una certa complessità. Infatti i volumi fluidi e dinamici, caratteristici delle opere di Zaha Hadid, hanno



48. Le travi lamelle in GRC, Museo Nazionale delle Arti del XXI secolo, Hadid, Roma

imposto la progettazione di appositi casseri in materiale plastico e metallico per l'esecuzione dei getti. I coni inclinati, trapassano la piattaforma sospesa e si tendono verso l'alto a sostegno della griglia d'acciaio che costituisce l'intelaiatura del tetto; quest'ossatura, composta di capriate intrecciate distese perpendicolarmente, è realizzata con 4.700 elementi d'acciaio saldati insieme con 3.000 giunti. I piani orizzontali, attraversati da pilastri verticali inclinati, offrono ad Hadid innumerevoli possibilità di sperimentare spazi articolati da pareti che scendono come in picchiata e da depressioni che si aprono nel pavimento a rivelare l'interno di un cono. La sperimentazione di Hadid non termina con l'esperienza del Phaeno Center, ma diventa un *know how* a supporto di successive occasioni progettuali in cui ella impiega il calcestruzzo nella sua massima esasperazione formale e strutturale.

Cinque anni dopo, la progettista anglo-irachena e la sua equipe di collaboratori, per la realizzazione del volume dinamico e plastico del **Museo Nazionale delle**

Arti del XXI secolo (MAXXI) a Roma (2010) adotta un cantiere sperimentale e innovativo. L'idea è quella di un processo che riannoda i temi del progetto - astrazione e potenza, fluidità e trasparenza, continuità e instabilità - alla tecnologia e alla costruzione: nel cantiere sono stati testati i risultati della sperimentazione in base alla rispondenza all'idea architettonica, rimasta peraltro assolutamente fedele a quanto formulato in sede di concorso e sviluppata con coerenza nelle fasi progettuali successive. Nulla è stato conseguenza di un semplice processo meccanico.¹¹³

La realizzazione dei grandi setti costituenti l'involucro, elementi ordinatori dello spazio, quasi sempre senza aperture, affronta e rivede le fasi della progettazione della miscela (mix design); della scelta dei casseri; della definizione delle modalità di getto e di disarmo; dell'individuazione di eventuali procedure di riparazione e protezione.¹¹⁴ Per realizzare i grandi getti senza soluzione di continuità da giunto a giunto (lunghi anche 60m per quasi 9 di altezza) si è scelto di utilizzare il calcestruzzo autocompattante, quasi inedito nel panorama edile italiano, indispensabile per realizzare getti di grande dimensione. La soluzione ha richiesto numerose prove sia in laboratorio che in cantiere, per testare la miscela, sulla base delle esigenze dettate dalle grandi dimensioni dei getti, dalla qualità delle superfici e dalle condizioni ambientali. Alla fine si è arrivati all'aggiustamento dei dosaggi dei componenti - fra i quali numerosi additivi necessari per risolvere il problema del ritiro - e alla scelta di installare in cantiere una centrale di betonaggio capace di garantire la continuità della produzione e il controllo delle condizioni ambientali.

Per quanto riguarda la definizione della tipologia delle casseforme e la relativa progettazione si è dovuto tenere conto dell'aspetto superficiale delle strutture previste dal progetto. Per contenere un calcestruzzo con le caratteristiche fisico-chimiche e formali richieste e controllare la resa estetica delle superfici a faccia a vista è stato necessario scegliere casseri particolari, con dimensioni fuori standard, caratterizzati da finiture del manto particolarmente pregiate e progettati in modo da sopportare le enormi spinte esercitate dalla miscela.

¹¹³ Cfr. AA.VV, *Museo MAXXI*, in "AV proyectos", n. 031, Madrid, Arquitectura Viva SL, 2009, pp. 68-81.

¹¹⁴ Cfr. D'Amato, Gabriella, *Architettura: una storia a ritroso. Dal Decostruttivismo al Classicismo*, Milano-Torino, Bruno Mondadori, 2010, p. 36.

Nella fase di getto delle pareti in elevazione, sono state adottate opere provvisorie particolari per dimensione e complessità.

La copertura ideata da Zaha Hadid è stata un'altra fondamentale componente della riuscita e della connotazione estetica dell'edificio. Completamente trasparente, permette un uso modulato e suggestivo della luce naturale ed è qualificata dalla presenza di travi lamelle in calcestruzzo fibrorinforzato (GRC, Glassfibre Reinforced Concrete). Quest'ultimo materiale è stato proposto dall'appaltatore, in alternativa alle travi prefabbricate in cemento armato del progetto originario, per la maggiore leggerezza e facilità di posa e manutenzione che offre.¹¹⁵

I calcestruzzi fibrorinforzati. Materialità *versus* incorporeità

Il calcestruzzo fibrorinforzato è un materiale composito relativamente nuovo che prevede l'aggiunta di fibre polimeriche o in acciaio o in vetro. Le miscele con fibre in polipropilene, idrorepellenti e resistenti agli ambienti alcalini, possiedono alta tenacità ed elevata stabilità dimensionale e sono resistenti all'abrasione nonché agli agenti atmosferici e chimici, alle muffe ed ai microrganismi. L'elevatissimo numero di fibre disperso all'interno della massa di calcestruzzo realizza una microarmatura tridimensionale diffusa in un modo uniforme ed in grado così di contrastare le tensioni da ritiro plastico, tanto più elevato quanto più l'aria è secca e circola velocemente. Altri fattori che influenzano questo tipo di ritiro sono, naturalmente, il dosaggio di cemento, il rapporto acqua/cemento, la temperatura dell'aria e l'esposizione al sole. Le fibre si distribuiscono in modo uniforme all'interno del conglomerato e riducono così la formazione di microfessurazioni anche perché, grazie alla loro notevole superficie specifica, presentano un'ottima aderenza degli inerti alla matrice cementizia. Esse agiscono così da rinforzo aggiuntivo ed incrementano la durabilità del manufatto, migliorandone la resistenza alla carbonatazione, le caratteristiche meccaniche, la resistenza agli urti ed ai cicli di gelo/disgelo e, non ultimo, l'aspetto estetico. Le fibre di vetro aggiungono funzioni di

¹¹⁵ Cfr. Avagnina, Mario, "Materico Astratto. La realizzazione del MAXXI", in *Le forme del cemento: Plasticità*, cit., pp. 140-143.

stabilizzazione statica di elementi di piccole dimensioni, mentre quelle di acciaio elevate caratteristiche di duttilità e tenacità, per cui sono particolarmente indicate per strutture sollecitate fortemente alla flessione, al taglio, agli urti ed all'usura.¹¹⁶

Con i calcestruzzi fibrorinforzati, attraverso i loro tanti brevetti, si esplorano nuovi orizzonti espressivi, nuove declinazioni formali per l'involucro architettonico. Le fibre disperse nella miscela, la possibilità di annullare la presenza delle armature, gli elevati valori di duttilità, sono le ragioni che conducono verso sperimentazioni del tutto inedite e inaspettate; l'involucro si assottiglia, si alleggerisce, tanto da smaterializzarsi, perde definitivamente la sua natura di elemento di confine e si trasforma in un sottile e incorporeo tessuto traforato o traslucido. I calcestruzzi con fibre polimeriche o di vetro si prestano maggiormente a sondare una nuova componente percettiva per l'involucro, mentre quelli con fibre d'acciaio trovano espressione nelle esperienze in cui il fatto tecnico e fisico sono preponderanti.

Nel Laboratorio di Bergamo di Italcementi Group è stato brevettato un prodotto inedito sul mercato denominato *i.light*^{®117}. Si tratta di un cemento nuovo, che legando particolari resine con un impasto di nuovissima concezione, consente di realizzare pannelli solidi e isolanti ma allo stesso tempo in grado di far filtrare la luce. Il mix di cemento costituito da additivi di nuovissima concezione e resine inserite all'interno dell'impasto che conferiscono prestazioni di trasparenza migliori delle fibre ottiche, sfruttano angoli di incidenza della luce più ampi. Il compound di resine può avere diverse intonazioni cromatiche che interagiscono con la luce naturale e artificiale, restituendo una luminosità calda e morbida all'interno dell'edificio e, di notte, un'immagine di chiaro nitore all'esterno. Ed ecco allora il **Padiglione Italiano** per l'Expo di Shanghai 2010: 3.774 pannelli realizzati con 189t di cemento trasparente su una superficie di 1.887mq. Ciascun pannello ha una dimensione di 500x1000x50mm e un peso di 25Kg, ma le dimensioni, per

¹¹⁶ Cfr. AA.VV., *Detail. Costruire con il cemento*, n. 4, Editore DETAIL, 2003, pp. 374-384.

¹¹⁷ Per approfondimenti in merito al brevetto *i.light*[®] consultare l'apparato A3 in allegato.

eventuali future applicazioni, possono variare.¹¹⁸ In una prova di flessione su tre punti effettuata sotto la direzione dell'ing. Stefano Cangiano, presso il Centro di Ricerca Italcementi Group, il pannello ha sostenuto un carico elastico pari a circa 3 kN, facendo registrare un carico massimo a rottura di circa 8 kN. La realizzazione dei manufatti può avvenire in officina come in cantiere: gli additivi non creano fessure né cavillature o discontinuità. Le resine assicurano la trasparenza per circa il 20% della superficie dei manufatti, sufficiente a rendere percepibili non solo i mutamenti meteorologici esterni ma anche i profili e i colori di eventuali figure prossime alla superficie. Questo involucro semi-trasparente che si alterna alle superfici perimetrali opache, è caratterizzato da differenti gradualità di trasparenze a seconda della articolazione funzionale degli spazi interni. Infatti i pannelli impiegati sono di tre tipi, uno opaco e due traslucidi; questi ultimi si differenziano tra loro in funzione del grado di trasparenza cioè in base al rapporto tra superficie opaca e trasparente.¹¹⁹ Il padiglione è un'opera strutturalmente seducente, impiantisticamente articolata ed integrata, architettonicamente complessa, realizzata in soli dieci mesi e con il valore aggiunto di una tecnologia fortemente innovativa quale quella del Translucent Concrete, il nuovo cemento trasparente.

Altro brevetto appartenente alla famiglia dei calcestruzzi fibrorinforzati, nato dal lavoro di ricerca della Lafarge, gruppo francese produttore di materiali da costruzione, è il Ductal[®] composto da fibre organiche o metalliche. È un impasto di cemento, una *mousse de beton* dalle caratteristiche tecniche eccezionali e dalle possibilità praticamente illimitate. Le innumerevoli fibre organiche che si mescolano con questa *mousse* in modo casuale e apparentemente senza logica, sono il fortissimo legante strutturale che tiene insieme questo straordinario cemento e che lo rende incredibilmente compatto ed elastico al tempo stesso. Un materiale quindi dalle potenzialità straordinarie in termini sia di funzionalità sia di creatività.

¹¹⁸Cfr. Imbrighi, Giampaolo, *Padiglione Italiano Expo 2010*, in "Materia", n. 66, Federico Motta Editore, 2010, p. 92.

¹¹⁹ Cfr. AA.VV., *L'Expo di Shanghai 2010. Il Padiglione Italiano*, a cura di Davide Rampello, Electa, 2011.



49. Padiglione Italiano per l'Expo di Shanghai 2010, Imbrighi

Il Ponte della Pace a Seoul (2002) in Corea, dell'architetto Rudy Ricciotti è la prima esperienza progettuale in Ductal[®] con fibre metalliche. Elegante e sottile, il ponte di Ricciotti, ha un arco di 120m ed uno spessore di soli 3cm, senza alcun supporto intermedio.¹²⁰ L'opera presenta proporzioni estremamente slanciate, impossibili da realizzare con un calcestruzzo tradizionale; la struttura in Ductal[®], infatti, consente di ridurre della metà il materiale impiegato, pur garantendo le stesse capacità di portata e resistenza; qualità che porteranno nel 2009 al Pont du Diable (Hérault, Francia) realizzato sempre in Ductal[®]. Jean-Paul Droumenq, direttore settore "Développement Ductal[®]", afferma:

"La Passerelle de la Paix de Rudy Ricciotti est une première qui marquera le développement à venir du Ductal[®]. Ce projet a apporté pour la première fois

¹²⁰ Cfr. Droumenq, Jean-Paul, *La Passerelle de la Paix. Séoul*, cit., pp. 46-47.



50. Veduta interna, Padiglione Italiano per l'Expo di Shanghai 2010, Imbrighi

*la confirmation que ce matériau permet une nouvelle manière, fine et élégante, d'écrire une structure.*¹²¹

Il Ductal[®] possiede proprietà eccezionali: l'altissima resistenza alla compressione ed alla flessione ne fanno un materiale duttile, caratteristica assente in ogni altro calcestruzzo. E' perfettamente modellabile: l'aspetto della superficie, che può essere liscia come il marmo, permette giochi di luce e di struttura ed offre quindi molta libertà e una nuova materialità. La miscela, additivata con fibre organiche, rende il materiale liscio e raffinato che combinato con la possibilità di modellarlo liberamente grazie alle sue eccezionali proprietà meccaniche, restituisce un panorama illimitato di soluzioni linguistiche possibili. Lucido e colorato, morbido, curvo o traforato come un ricamo, luminoso quasi incorporeo: sono i nuovi orizzonti

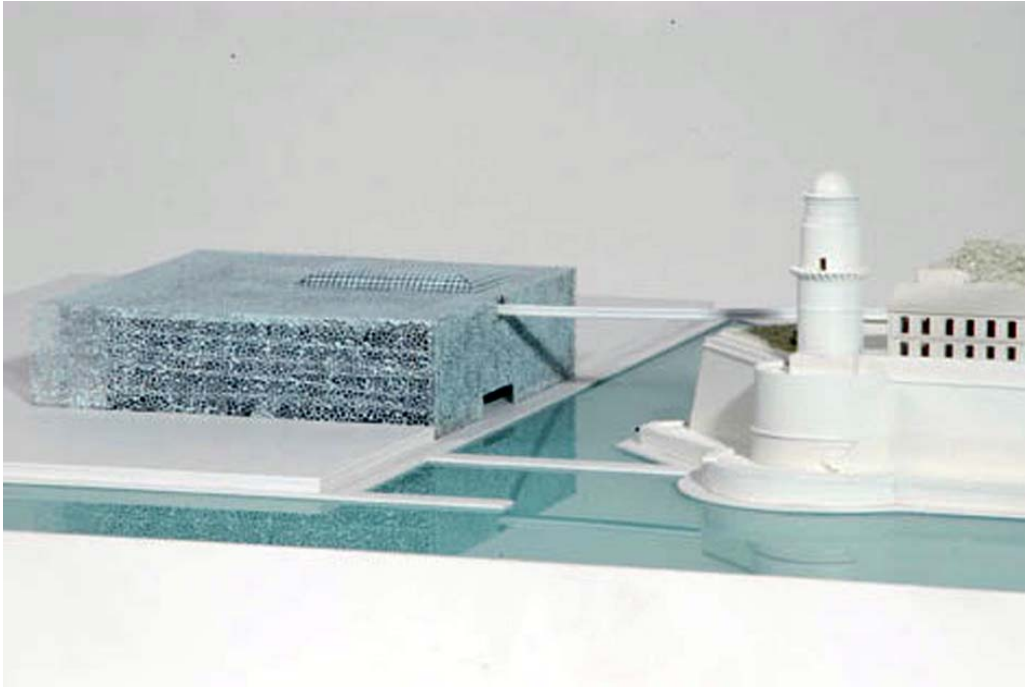
¹²¹ Droumenq, Jean-Paul, in Ricciotti, Rudy, *La Passerelle de la Paix. Séoul*, cit., p. 46.



51. Villa Navarra, Ricciotti, Le Muy, 2002

dell'involucro che si muove verso una smaterializzazione non solo in termini di massa, ma anche concettuale e percettiva, e l'impiego sperimentale del Ductal[®], più che per ogni altra miscela, diventa interprete di nuove possibili figurazioni.

L'architetto ingegnere Rudy Ricciotti dopo il progetto del Ponte della Pace, rimane affascinato dal Ductal[®] e intuendo le nuove possibilità del materiale, comincia un percorso di sperimentazione in collaborazione con la Lafarge, un uso privilegiato e appassionato del materiale nelle sue qualità plastiche. A partire dall'anno 2002, Ricciotti progetta e realizza opere che, attraverso la passione del progettista per il calcestruzzo e le attitudini proprie del materiale, misurano ed estendono le possibilità tecniche e formali del Ductal[®]. Per lastra di copertura di **Villa Navarra** (2002) lunga ben 40m, Ricciotti brevetta un sistema di pannelli prefabbricati di 2,5m di larghezza e 10m di lunghezza, di



52. Museo delle Civiltà dell'Europa e del Mediterraneo, Ricciotti, Marsiglia

cui 7,8m a sbalzo, dal profilo finemente sagomato di soli 3cm di spessore, assemblati senza giunti di dilatazione. Il risultato formale è una lama sottilissima, leggera, che come sospesa, fende il paesaggio naturale e selvaggio di Le Muy.

Il **Museo delle Civiltà dell'Europa e del Mediterraneo** a Marsiglia (MUCEM, 2004)¹²², è un progetto che parla di smaterializzazione, come afferma lo stesso Ricciotti:

“Il s’agit d’un projet qui vise à la dématérialisation, avec quelques filiations orientalistes lointaines, assez féminines; c’est un projet dans le quel je réclame l’absence de virilité, c’est un autre moyen de faire parler le béton. En effect, c’est l’alter ego de la Salle de Rock de Vitrolles; ici nous trouvons l’expérience

¹²² Concorso 2004, progetto in fase di realizzazione.



53. Les Grands Moulins, Ricciotti, Parigi, 2001

*du Centre Chorégraphique d'Aix en Provence, c'est-à-dire ramener sur les facade une structure en pointille (...)"*¹²³

Una sorta di brise-soleil posto a protezione del prospetto sud ovest del museo, un reticolo di Ductal[®], una “casbah verticale”, che evoca forme biomorfe, attraverso motivi geometrici dal decoro arabo-musulmano. La parete filtra i raggi del sole e proietta le ombre in continuo movimento attraverso le superfici vetrate. La rete in calcestruzzo è costituita da pannelli modulari prefabbricati che si replicano, assemblati in opera e fissati alla struttura portante dell'edificio.¹²⁴

¹²³ Ricciotti, Rudy in Lucente, Roberta e Trasi, Nicoletta, *Da Sud a Sud, Workshop internazionale di progettazione con Rudy Ricciotti*, Roma, Palombi Editore, 2009, p. 51.

¹²⁴Cfr. AAVV, *Architectures du béton. Nouvelles vagues, nouvelles recherches*, cit., pp. 228-231.



54. Les Enfants du Paradis, Ricciotti, Chartres, 2004

La ricerca della smaterializzazione dell'involucro, attraverso un'indagine sempre più spinta e l'attitudine del Ductal® a essere lavorato plasticamente, conduce Ricciotti al progetto per la nuova facciata del cinema **Enfants du Paradis** a Chartres (2004), come in precedenza nel progetto per l'ampliamento del **Grands Moulins** a Parigi (2001)¹²⁵ anche se per una superficie limitata alle bucaure del vano scala; i pannelli, assemblati, estremizzano le potenzialità del materiale rievocando la cultura delle fonderie¹²⁶, traducendo la facciata in un sottile e fitto reticolo dello spessore di 3 cm, le cui linee si muovono sinuose e fluide come colate dalla mano di un abile artigiano. L'involucro così viene privato completamente dell'usuale fisicità, la materia perde consistenza, e

¹²⁵ Cfr. Ardenne, Paul, *CODEX. Rudy Ricciotti*, Boston-Berlin, Birkhauser Basel, 2004, pp. 150-153.

¹²⁶ Cfr. Lucente, Roberta, "Da sud a sud", in Lucente, Roberta e Trasi, Nicoletta, *op. cit.*, p. 10.

diventa quasi incorporata esplorando una nuova modalità di relazione con lo spazio.

E ancora un'interessante soluzione sono i pannelli traforati delle lunghe braccia dell'ampliamento del **Lille Métropole Musée d'art moderne** (LAM) in un magnifico parco a Villeneuve d'Ascq (2010). L'edificio esistente, progettato da Roland Simounet nel 1983, è già nella lista dei monumenti storici della città, e l'ampliamento di 3.200mq ad opera dell'architetto francese Manuelle Gautrand, è stato concepito per differenziarsi dall'esistente come un'entità continua delle linee fluide, aggiungendo nuove gallerie dedicate a una collezione di opere di "outsider art" o "art brut". Cercando di prendere spunto dall'architettura di Roland Simounet, l'intervento della Gautrand reinterpreta in maniera originale alcuni dei principi fondatori del progetto, rispettandone le proporzioni e la relazione con il parco di sculture in cui è immerso il museo, questo per non far trasparire un atteggiamento di indifferenza del nuovo verso l'esistente, ma stabilire un nesso tra i due edifici peraltro molto diversi.¹²⁷ Le geometriche facciate in mattoni rossi lasciano il passo al candore dei lunghi bracci organici in calcestruzzo, al termine dei quali la superficie si trafora; i pannelli forati realizzati in Ductal[®] compongono una sorta di arabesco il quale lascia filtrare la luce naturale all'interno delle sale proteggendo al contempo le opere dalla luce diretta e stabilendo un forte legame con il paesaggio circostante. I ritagli di luce lungo l'involucro delle gallerie rendono lo spazio meno rigido, accompagnando i visitatori alla scoperta delle opere d'arte in un cammino graduale, all'estremità delle quali lo sguardo dello spettatore confluisce in un magnifico anfratto di parco circostante svelato dalla superficie che si assottiglia e svanisce in un gioco di raffinati intarsi. I pannelli bianchi in Ductal[®] garantiscono una perfetta continuità visiva e ben si integrano con la superficie continua in calcestruzzo gettata in opera. La squadra della Betsinor, azienda francese leader nella produzione di elementi prefabbricati, si occupa della realizzazione dei pannelli e sperimenta, per il progetto dell'ampliamento del museo, una tecnica di iniezione a vuoto ereditata dal settore delle materie plastiche. Yves Tougard, architetto e capo del cantiere del LAM commenta:

¹²⁷Cfr. Le Gac, Christophe, *Manuelle Gautrand architecture*, Neo Architects series, Mulgrave, The Images Publishing Group, 2005, pp. 66-73.

“La collaboration avec Betsinor Composites a contribué à donner corps à la réalisation de ces panneaux de « moucharabieh » grâce à l’utilisation d’un béton fibré, et ce tant sur le plan technique que financier... Cette technique, dérivée des process déployés en plasturgie, est utilisée pour les deux types de matrices cimentaires mises en œuvre par Betsinor Composites, à savoir le Ductal® FO et le CCV. Ainsi, avec le CCV, elle permet d’augmenter la compacité et la résistance des pièces produites tout en réduisant encore leur porosité. Les produits obtenus sont cristallisés à l’identique sur toutes leurs faces. La réalisation de résilles ou de panneaux perforés s’en trouve facilitée.”

Un progetto che nasce dalla sinergia di competenze specialistiche, che restituisce, assieme alle letture delle opere precedenti, nuove metodologie progettuali in cui il momento creativo si interfaccia con la realizzazione. È il progettista che, partendo dall’attitudine del materiale, intuisce le sue possibili espressioni e sperimenta mutando la concezione dell’involucro che si mostra ora in eleganti trine, ora in superfici traslucide attraverso un materiale che pian piano perde la sua fisicità spingendosi oltre i confini dell’immateriale.

Nuove versioni del calcestruzzo a facciavista. Varietà e variazioni di finitura

“Ogni materiale possiede un linguaggio formale che gli appartiene e nessun materiale può avocare a sé le forme che corrispondono ad un altro materiale. Perché le forme si sono sviluppate a partire dalla possibilità di applicazione e dal processo costruttivo proprio di ogni singolo materiale, si sono sviluppate con il materiale e attraverso il materiale.”

Adolf Loos

Dal momento in cui al calcestruzzo si riconosce una valenza estetica, espressiva e si comincia a svelarlo in superficie, lasciandolo a vista, le possibilità formali del materiale si potenziano. Fino agli anni quaranta, il calcestruzzo, fatta eccezione per le esperienze progettuali di Perret, non sfrutta a pieno le sue potenzialità espressive, ma prevale maggiormente il suo ruolo di

strumento statico con cui innovare le tradizionali tecniche e concezioni costruttive. Le superfici ruvide e grezze di Le Corbusier, le pareti lisce e satinare di Kahn, le sagome minutamente scalettate di Scarpa, i muri astratti e monocromatici di Ando, segnano il passaggio del cemento armato dallo status di materiale economico, strutturale, povero, al cemento armato raffinato, esibito, prezioso.¹²⁸ In questo processo gli architetti sono stati sostenuti dai risultati della ricerca scientifica, dai progressi dell'industria, dall'opera di maestranze non di certo ordinarie: dosaggio di inerti e acqua, modifiche nella composizione della miscela, innovazione nelle tecnologie costruttive hanno consentito e dato il via a una sperimentazione di tipo formale, sulla cui scia si è innestata la ricerca architettonica più recente. Il calcestruzzo potenzia le sue attitudini di elemento di superficie generatore di una nuova immagine architettonica per l'involucro, che si esibisce dopo la lavorazione. La superficie lucida/opaca, liscia/ruvida, grezza/fine, monocromatica/colorata, è il risultato di una combinazione di materiali, tecniche e metodi. Attualmente, sono disponibili diverse soluzioni tecnologiche che si differenziano per la capacità di controllare e di modificare l'aspetto del calcestruzzo.

È proprio con l'esperienza progettuale che si esplorano, si testano nuovi materiali e metodi per la superficie dell'involucro: casseforme dalle geometrie complesse, innovativi trattamenti superficiali, tecniche fotografiche, speciali additivi ritardanti, inserimento di inerti o pigmenti. A indurimento avvenuto, il calcestruzzo presenta le caratteristiche e l'aspetto della pietra. La superficie porta l'impronta delle casseforme; può trattarsi della trama di tavole segate o strutturate oppure di una superficie liscia o plasmata con delle matrici, o di un elemento al cui interno sono disposti pezzi speciali che rimangono a vista assieme al calcestruzzo. La superficie rivela così la traccia del tipo di cassaforma impiegata, nelle sue forme e tecniche, che si propone come matrice espressiva, come componente attiva nella qualificazione estetica del progetto.

Oggi alle tradizionali e storiche superfici in *beton brut*, del calcestruzzo lasciato a vista, realizzate in casseforme di tavole di legno, dall'aspetto grezzo e rude, quasi di "non finito", si accostano i casseri in materiale sintetico elastico, di certo più adeguati per esplorare le qualità di plasticità e duttilità dei calcestruzzi di ultima generazione. Difatti, le moderne tecnologie consentono

¹²⁸ Cfr. Portoghesi, Paolo, *Editoriale*, in "Materia", n. 62, Federico Motta Editore, 2010.

di realizzare sagome uniche e ricercate, di riprodurre motivi e pattern inserendo elementi sul fondo del cassero prima del getto, o imprimendo particolari trame da riprodurre in negativo sulla superficie di calcestruzzo. Solitamente lo spessore della trama incisa, nel caso di matrici o casseri realizzati in materiale plastico, raggiunge al massimo gli 80mm, ma oggi è possibile eseguire trame più profonde e incisioni più decise. Le matrici o forme di plastica, sono composte generalmente di un materassino in gomma con uno spessore di circa 8-10mm cui si applica la particolare profondità di spessore e, se opportunamente trattate, possono fornire superfici di aspetto costante per oltre 100 impieghi. Per le casseforme a matrice si utilizza, invece, una struttura composta di due materiali in cui la trama costituisce il primo strato mantenuto da un supporto in resina espansa irrigidita.¹²⁹ I casseri e le matrici in materiale plastico, si adattano a ogni richiesta del progettista, progettate di volta in volta per la singola esperienza progettuale; gli esiti inediti diventano esperienze applicative che restituiscono casi reali per successive sperimentazioni e innovazioni.

Nella decorazione stampata sui pannelli della facciata grigio-verde del **Nottingham Contemporary** (Regno Unito, 2009) progettato dal gruppo Caruso St John Architects, si impiega un cassero sulla cui superficie è riportato il motivo di un merletto. E' un esplicito omaggio all'industria storica di merletti, non un puro atto decorativo, in quanto le grandi fabbriche occupavano, sino allo scorso secolo, l'area del Lace Market ed erano il principale motore economico della città. Il campione del merletto è stato riportato, nella sua consistenza e spessore, tramite una scansione tridimensionale sui casseri rivestiti con pellicola negativa in *lattice*; le giunture fra i pannelli sono coperte da strisce di alluminio dorato. La combinazione calcestruzzo stampato decorativo/coprigiunti provoca, nei diversi momenti della giornata, effetti contrastanti di chiaro scuro e riflessione, il merletto diventa motivo di qualificazione urbana.¹³⁰

¹²⁹ Cfr. AA.VV, *Atlante del cemento*, cit., pp. 62-64.

¹³⁰ Cfr. Boudet, Dominique, *AMC: Beton. Architecture in Concrete*, France, Le Moniteur, 2010, pp. 84-87.



55. Particolari pannelli, Nottingham Contemporary, Caruso St John, 2009

La cassaforma per il **Matsumoto Performing Art Center** di Tokyo Ito e Associati (Giappone, 2004) prevede l'inserimento di elementi di vetro disposti nel pannello, largo 1,2m e alto 6,5m, secondo una configurazione sempre differente in modo da creare effetti di densità e porosità sempre variabili.¹³¹ La lunga parete dell'involucro appare dall'interno come una costellazione di forature retroilluminata dai raggi del sole al tramonto, mentre, di notte, si trasforma all'esterno in un lungo nastro brillante inondato dalla luce emanata dai faretto incassati nel pavimento.

Altro esempio in cui la morfologia della cassaforma prevede l'inserimento di elementi di materiale differente dal calcestruzzo è quello del **Louis Vuitton Store** di Jun Aoki a Tokyo (Giappone, 2002) in cui elementi di marmo bianco traslucido di diverse pezzature sono disposte al fondo del cassero prima del

¹³¹ Cfr. Lanzarini, Orietta e Muffato, Alberto, *Teatri e luoghi per lo spettacolo*, Milano Electa architettura, 2008, pp. 254-267.



56. Facciata, Louis Vuitton Store, Aoki, Tokyo, 2002

getto¹³² o il monolite camaleontico del **Centro di archiviazione EDF** a Bure-Saudron in Francia (2008-2011) progettato dallo studio LAN architecture in cui la monoliticità della costruzione, alta cinque piani, è mediata da una soluzione tecnica, successivamente brevettata: l'inserimento di 120.000 borchie in acciaio inox del diametro di 7cm nei casseri dei pannelli in calcestruzzo di 8cm di spessore. Le borchie riflettono i colori della natura circostante e, al cambio delle stagioni, restituisce un'immagine mutevole, camaleontica pur nella compattezza del volume complessivo. Gli stessi progettisti, affermano infatti:

“This invention allows the construction of facades including reflecting units with the aim of giving the building a changing appearance determined

¹³² Cfr. Boudet, Dominique, *AMC: Beton. Architecture in Concrete*, cit., pp. 100-103.

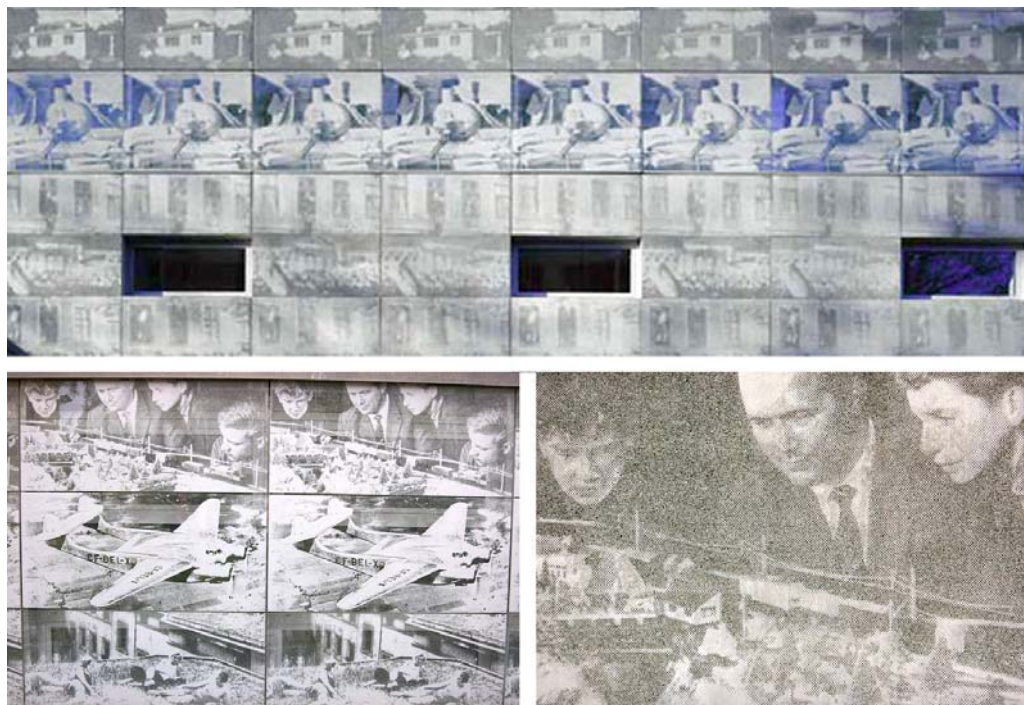


57. Lavorazione pannelli, Centro di archiviazione EDF, LAN, Bure-Saudron, 2011

*partially by the environment partially by the weather around the building (...)*¹³³

Altra possibilità espressiva delle superfici in calcestruzzo è la possibilità di sottoporle a trattamenti supplementari direttamente in cantiere o durante la fase di prefabbricazione; tutte tecniche che si innovano attraverso il progetto, a servizio della ricerca espressiva contemporanea. Accanto alle lavorazioni più tradizionali di tipo artigianale - bugnatura, sbozzamento, bocciardatura, scalpellatura - e meccanico - segatura, staccatura, levigatura, lucidatura -, si esplorano tecniche quali il calcestruzzo lavato, le superfici acidate, e l'innovativo calcestruzzo fotografico, attraverso il procedimento della fotoincisione. La tecnica consente di trasferire una fotografia nella ruvidità

¹³³ Leblond, Christophe, *Solutions innovantes en béton: Les Archives EDF à Bure*, in *Construction Moderne*, n. 136, juin 2011, p. 18.



58. Particolari facciata, Biblioteca di Eberswalde, Herzog & de Meuron, 1999

della superficie di calcestruzzo, creando sfumature di grigio generanti l'immagine su una superficie di calcestruzzo in origine liscia. Il procedimento richiede un esatto dosaggio meccanizzato di ritardante su una pellicola di supporto. Per i differenti spessori del supporto e le incisioni da dilavamento che ne derivano si riproduce l'immagine originaria sulla superficie di calcestruzzo. La pellicola di supporto così predisposta viene gettata e la superficie ritardante viene lavata dopo l'indurimento dell'elemento edile. La profondità del dilavamento è limitata e varia di poco da caso a caso. Nel calcestruzzo fotografico non si richiede l'inserimento di minerali in granuli di dimensioni maggiori. Il laborioso procedimento esecutivo del calcestruzzo fotografico limita la produzione allo stabilimento e solo a pezzi prefabbricati.

Le facciate fotoincise della **Biblioteca di Eberswalde** (1999) in Germania di Herzog & de Meuron propongono immagini ossessivamente ripetute sulle pareti in calcestruzzo, trasformando le facciate della biblioteca in un'opera di



59. Lavorazione e particolare pannello, Biblioteca Universitaria di Utrech, Arets, 2004

pop art. L'immagine viene inizialmente stampata su una lastra di polistirene, ottenendo una figura costruita da uno strato di minuscoli punti. Tale lastra verrà poi posizionata sul fondo del cassero prima di eseguire il getto, impiegando in aggiunta una sostanza ritardante¹³⁴: una volta effettuato il disarmo del calcestruzzo le aree a contatto con il ritardante vengono lavate, ottenendo così il rilievo del disegno, definitivamente impresso sul paramento in calcestruzzo.¹³⁵ Le immagini serigrafate vanno a delineare una texture ripetitiva definendo l'involucro come una pelle tatuata. La scelta delle immagini riprodotte è stata affidata all'artista tedesco Thomas Ruff, che ha utilizzato figure di repertorio miscelate a dettagli presi da alcune opere del pittore quattrocentesco Lorenzo Lotto.

¹³⁴ Commercialmente nota con il nome di Serilith.

¹³⁵ Cfr. Sinopoli, Nicola. e Tatano, Valeria, *op. cit.*, p. 245.



60. Superficie interna, Cappella di Bruder Klaus, Zumthor, Eifel, 2007

E ancora, la superficie nera della **Biblioteca Universitaria di Utrecht** (2004) in Germania progettata da Wiel Arets crea l'illusione che l'edificio sia inserito in un contesto naturale riproducendo la trama di canne di salice. L'idea progettuale nasce dall'osservazione del progettista delle ombre che gli alberi proiettavano sulle vetrate del suo studio a Maastricht. Inizialmente la foto scattata da Kim Zwarts si proietta sulla sola superficie vetrata, poi si estende il motivo delle canne di salice alle pareti in calcestruzzo esterne e interne, attraverso una serigrafia tridimensionale.

In questo contesto di sperimentazione industriale sofisticata, il progettista svizzero Peter Zumthor, sperimenta un calcestruzzo "carbonizzato" espressione di una raffinata ricerca sul materiale e sulla sua messa in opera nel progetto della **Cappella di Bruder Klaus** (2007). Un singolare disarmo, associato a un trattamento finale, rende la superficie interna della cappella simile a quella di

una carbonaria.¹³⁶ Acceso un fuoco all'interno della cappella per tre settimane, i sottili tronchi di legno delle casseforme, lasciano la forma e il colore nero della bruciatura; i 112 pali di legno, si sono così disidratati e poi hanno subito una combustione imperfetta. Il calcestruzzo, già grossolano e ruvido, annerito dal fumo diviene di fatto simile al carbone e si fa interprete di un'architettura essenziale, quasi scultorea. Le due facce della cappella, quella interna "carbonizzata" contrasta con la superficie esterna, realizzata con cemento bianco e inerti giallo-rossastri, generando un doppio dialogo con il luogo e lo spazio: intimo, personale, ma legato al contesto che la circonda.¹³⁷

¹³⁶ Cfr. AA.VV, *Bruder Klaus field chapel, Wachendorf, Germany. Peter Zumthor*, in "Arquitectura Viva", n. 120, Planeta terra, 2008, pp. 66-69.

¹³⁷ Cfr. AA.VV, *Peter Zumthor. Cappella di Bruder Klaus. Mechernich, Eifel, Germania*, in "Casabella", n. 758, 2007, pp. 142-153.

PARTE III
SPERIMENTAZIONI

PARTE III

SPERIMENTAZIONI

5. Il progetto come prototipo nell'impiego dei calcestruzzi di ultima generazione per i pannelli di facciata

La lettura di alcune esperienze progettuali, scelte nel panorama contemporaneo, rivela oggi l'attenzione alla progettazione di pezzi modulari, elementi architettonici riconoscibili nella loro singolarità che, assemblati, restituiscono la superficie complessiva o parziale di un involucro architettonico qui definito con il termine *discreto* in quanto costituito, appunto, da un numero variabile di pezzi replicabili e non identificato da una superficie unica, geometricamente continua e monolitica. È proprio attraverso l'analisi di alcuni progetti di involucri di tipo *discreto* che l'ipotesi di fondo sembra avvalorarsi maggiormente. In questi esempi il calcestruzzo si conferma infatti strumento privilegiato di caratterizzazione formale e si verifica la corrispondenza tra la scelta delle miscele e la prefigurazione di determinati esiti espressivi, a ulteriore riprova del fatto che le diverse tipologie di miscele cementizie innovative sono, nella ricerca contemporanea, fattori di stimolo, tanto nel disegno del singolo elemento di facciata quanto nella definizione dell'intero processo di progettazione. Si osserva infatti che il pannello prefabbricato in calcestruzzo, risultato conclusivo del processo progettuale, è oggetto di sperimentazione; dalla miscela cementizia impiegata fino alla messa in opera,

si definiscono modalità sempre differenti in risposta a precise volontà progettuali, determinando così un prodotto-pannello unico nel suo genere, tanto da potersi definire elemento prototipico di facciata. Ma la singolarità non risiede solo nel risultato finale, è l'intero processo creativo a essere coinvolto, a subire variazioni che non rispondono a un metodo o a un'idea definita a priori, codificata, programmatica; dalla scelta, modifica e risposta della miscela cementizia, alla definizione ed elaborazione di una determinata cassaforma, fino alla messa in opera, si costruisce un'esperienza sperimentale che conduce a un determinato e inedito esito espressivo. Sembra lecito, perciò, parlare di una definizione di brevetto in senso più ampio, inteso sì come oggetto o applicazione tecnica avente requisito di novità¹³⁸, ma estendendo il suo significato anche all'intero processo creativo e tecnologico. È in questo senso che è l'intero processo progettuale a potersi definire prototipico. Quest'assunto è sostenuto dai caratteri innovativi dei calcestruzzi di ultima generazione, dalle loro sorprendenti attitudini e straordinarie versatilità, che rimettono continuamente in gioco le variabili costituenti il progetto; ma è sospinto anche da una nuova e vincente sinergia di figure professionali, di competenze specialistiche che compartecipano al rinnovamento del processo compositivo nelle sue diverse fasi. Le esperienze progettuali analizzate rivelano come oggi il calcestruzzo è materia di sperimentazione per il progetto; le miscele cementizie si modificano, esplorano nuove qualità espressive e parallelamente il progetto dell'involucro discreto si arricchisce, diventa un'avventura sempre nuova. E così nel **Centro Bus a Thiais** progettato da Emmanuelle Combarel e Dominique Marrec, il Ductal[®], additivato con fibre organiche, genera pannelli sottilissimi dalle curvature complesse, riproducendo un fitto motivo a rilievo in superficie che restituisce un involucro che sembra sorgere dal suolo, essere un tutt'uno con il tessuto urbano circostante. Mentre nel progetto dell'ampliamento per il **Lille Métropole Museum of Modern Art** di Manuelle Gautrand, è lo stesso calcestruzzo fibrorinforzato a qualificare l'involucro, che però questa volta si svuota, si smaterializza parzialmente in un gioco di pieni e vuoti mediante pannelli prefabbricati forati come se il materiale minerale diventasse tessuto, una trina che, nei suoi ricami e intagli, instaura un timido e introverso dialogo tra l'anima delle nuove gallerie espositive e l'esterno del

¹³⁸ Cfr voce in glossario, apparato A1.

bosco di Villeneuve d'Asq. E ancora, nel **Performing Arts Center** di Toyo Ito, il calcestruzzo rinforzato con fibre di vetro, si impregna di elementi trasparenti, di una nuova materialità che rompe la consueta opacità e il senso di pesantezza fisica attribuita al materiale presentando un involucro che affianca all'immagine esterna quella interna, in un'unica superficie, in un'unica percezione visiva e tattile. Nel **Les Infant du Paradis** di Rudy Ricciotti a Chartres, invece, i pannelli prefabbricati restituiscono un disegno fatto non di motivi a rilievo, di parti forate o di composizione di materiali differenti, ma di un intreccio di linee sottilissime colate come piombo fuso che dissolvono la superficie della facciata. Sembra chiaro come queste esperienze progettuali siano tutte uniche, irripetibili, processi creativi e tecnologici legati alle possibilità di un materiale capace di affrontare qualsiasi sfida; ma l'esperienza progettuale non termina con la realizzazione dell'opera, in quanto è il progetto stesso a diventare subito caso studio, punto di partenza da cui muovere verso nuove sperimentazioni, nuove immagini per l'involucro *discreto* in calcestruzzo.

Di seguito si affrontano con maggiore dettaglio, entrando nel merito delle questioni operative relative al processo costruttivo, tre di queste esperienze progettuali, scelte in quanto significative ai fini della verifica dell'ipotesi di fondo. Esse consentono infatti di chiarire se e in che modo la scelta della miscela, l'impiego di una determinata cassaforma e la modalità di messa in opera intervengono nel processo creativo del pannello di facciata prefabbricato in calcestruzzo. A conclusione, nella seconda parte di questa trattazione, l'ipotesi formulata è ricondotta a un livello di riflessione più generale, di carattere metodologico, con l'intento di mettere a sistema una possibile relazione, anche in forma biunivoca, tra il metodo di approccio progettuale e la scelta di una specifica miscela cementizia ai fini del raggiungimento di determinati esiti formali desiderati. Si perviene così alla definizione di un'ipotesi di metodo, di un protocollo applicabile in sede progettuale e tradotto in forma grafica attraverso l'elaborazione di uno schema matriciale.

IL CENTRO BUS RATP



Il Centro Bus RATP a Thiais

La stazione della Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP) di Thiais (Val-de-Marne), inaugurato nella primavera del 2007, ha una sua identità unica e irripetibile, un linguaggio espressivo risultato di una sperimentazione sul materiale, il Ductal[®], che ne estende le possibilità estetiche e tecniche.

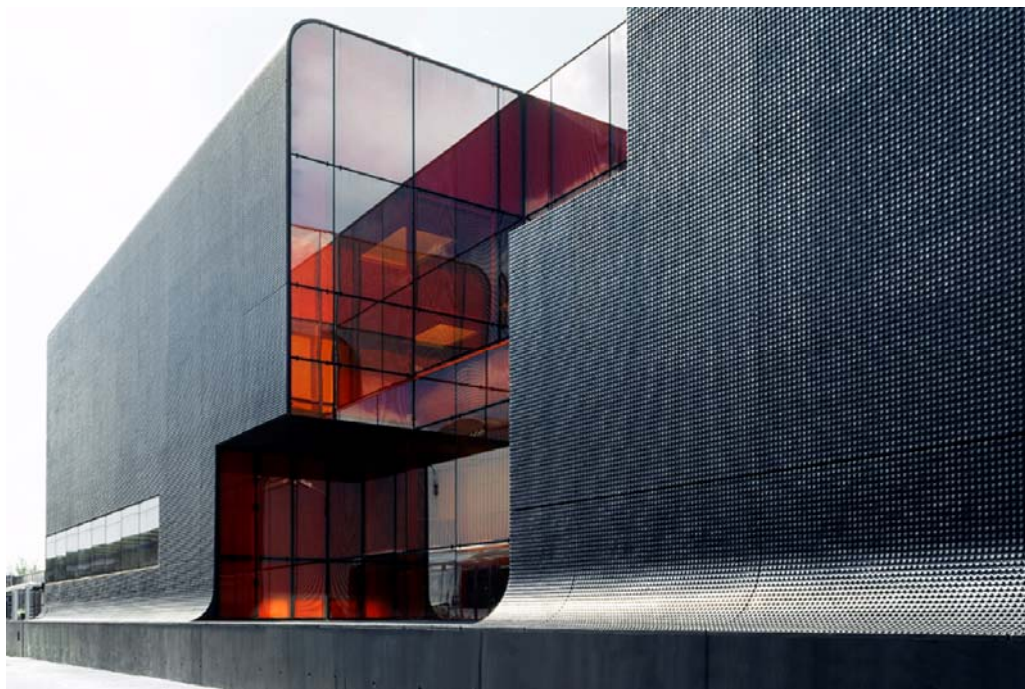
*“Étant parmi les leaders mondiaux de transports urbains et pionnière en matière de technologie, la RATP se doit d’avoir une expression architecturale à son image. - afferma Rémi Feredj, direttore della RATP - Le bâtiment de Thiais répond à cette exigence. Il participe à l’amélioration du paysage urbain du site. Pour les centaines d’agents qui y travailleront, c’est une fierté, un signe d’appartenance et un emblème de notre marque.”*¹³⁹

L’esperienza di Emmanuel Combarel e Dominique Marrec, fondatori nel 1993 dello studio ECDM di Parigi, sembra, più di tante altre, chiarire come la sperimentazione sulla materia cementizia affianca il progetto, come il progetto stesso diventa a sua volta occasione d’indagine e ricerca; un atteggiamento oggi sempre più attuale, supportato dall’impiego di calcestruzzi che non smettono mai di innovarsi, che mutano nella loro composizione chimica e possibilità espressive.

L’idea progettuale: contestualità, funzionalità, ricercatezza

L’area di tipo periurbano in cui sorge il nuovo edificio del Centro Bus RATP, riunisce in un caotico agglomerato capannoni industriali appartenenti a grandi ditte commerciali, ampie strade a scorrimento veloce e raccordi stradali. Coniugando funzionalità e integrazione con il territorio, il progetto privilegia l’attrazione visiva e la continuità con lo spazio circostante. L’effetto così ottenuto è il risultato dell’impiego di pannelli sagomati in Ductal[®], calcestruzzo fibrorinforzato ad altissime prestazioni meccaniche, dalla forte omogeneità minerale, che qualificano il perimetro e l’involucro della costruzione. Questa elegante “pelle” di calcestruzzo procede dalla superficie stradale e poi si eleva avvolgendo l’edificio, al punto da confondere l’una e

¹³⁹ Feredj, Rémi, *Dossier de Press Lafarge*, giugno 2007, p. 1.



61. Centro Bus RATP, EC2M, Thiais, 2007

l'altro in un insieme coerente, che comprende anche il solaio di copertura. Con la realizzazione del Centro Bus di Thiais, lo studio EC2M ha avuto l'occasione di sperimentare nuovi rapporti psicosensibili con i materiali, in particolare con il calcestruzzo, qui utilizzato come carta vincente a più livelli: come involucro, rivestimento ed elemento fisico e plastico di collegamento tra suolo e pareti. Grazie all'impiego sperimentale del calcestruzzo, l'architettura del Centro Bus di Thiais si configura come una formula di rinnovamento, una potenziale rimessa in gioco dei possibili esiti e modalità progettuali e il suo progetto, di conseguenza, una proposta critica. Marrec e Combarel elaborano lo scenario di un edificio di grande impatto in un ambiente dall'estetica trascurata al quale il futuro Centro Bus avrebbe dovuto offrire un valore aggiunto.

“Nous voulions travailler sur la minéralité des lieux suburbains et proposer un bâtiment dans la continuité de la chaussée, qui émerge comme une déformation



62. Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

de celle-ci. C'est de ce travail qu'est née l'idée d'une peau qui brouille les perceptions entre les flux de circulation et le bâti tout en offrant une identité visuelle cohérente à l'ensemble du site. L'effet obtenu résulte de la mise en oeuvre sur une large bande du tarmac ceinturant le bâtiment, de grands panneaux de Ductal[®] teinté dans la masse et texturé qui prolongent la zone de roulage des bus, se déforment en courbes et contrecourbes, s'élèvent en gommant les épaisseurs du bâti et se perdent dans le ciel pour venir napper un programme composite en continuelle évolution."¹⁴⁰

Commenta così Dominique Marrec, e in effetti l'idea degli architetti è quella di prolungare l'effetto parcheggio, prima peculiarità che si associa a un centro bus, fino all'edificio stesso, dando l'impressione che questo emerga da un suolo trasformato, gonfiato per l'effetto di una crescita immediata, subitanea.

¹⁴⁰ Marrec, Dominique, *Dossier de Press Lafarge*, giugno 2007, p. 2.



63. Prospetti, Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

Si impone allora naturalmente l'idea di una pelle che circonda e ricopra l'edificio senza soluzioni di continuità, una pelle che confonde le percezioni tra il flusso di circolazione e il costruito, al tempo stesso offrendo al sito una densità visiva molto forte. La pelle prende quindi la forma universalmente riconosciuta di un mattoncino Lego[®], ingrandito e riprodotto all'infinito; uniformemente grigio; l'involucro in calcestruzzo fibrorinforzato ne ricopre i contorni, i pavimenti, le pareti, il tetto. I margini superiori e inferiori dell'edificio si modellano secondo morbide ed eleganti linee curve, non vi è preminenza della facciata, non si riconosce e distingue un davanti e un retro; l'aspetto unitario, valorizzato da un involucro da tacchetti rotondi e ripetuti a intervalli regolari, diventa totalità.¹⁴¹

¹⁴¹ Cfr. AA.VV., *Thiais. Cemento e vetro colorato*, in "Modulo", BE-MA Editrice, marzo 2011, pp. 28-29.



64. Prospetti, Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

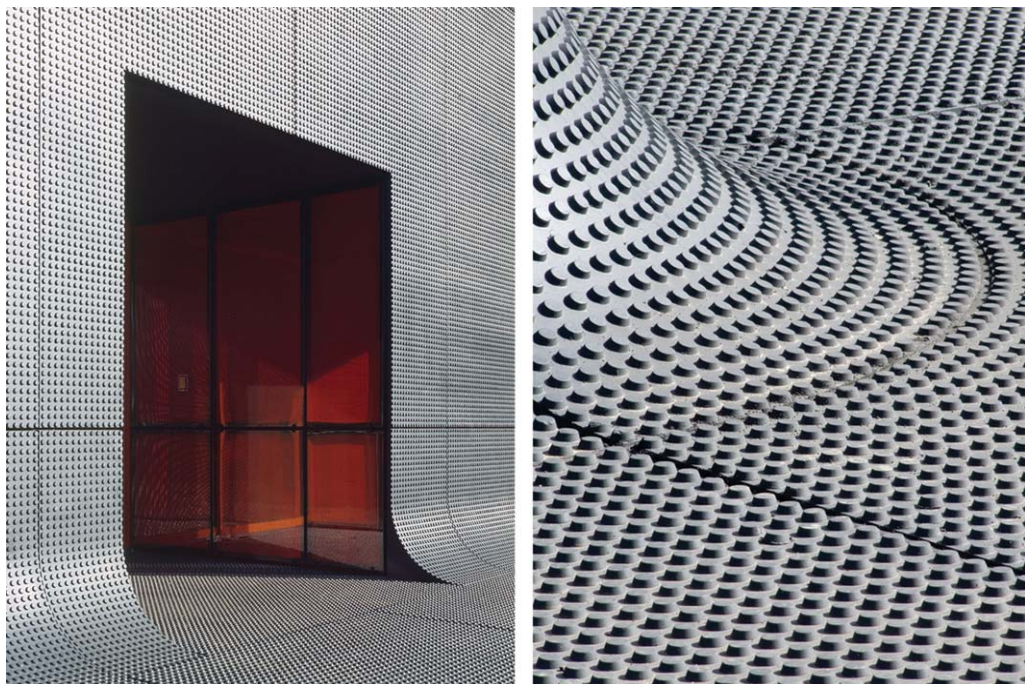
Il potenziale imprevisto del Ductal®

Il Ductal®, materiale protagonista di quest'esperienza progettuale, nasce come pura invenzione ingegneristica.¹⁴² *“Risponde alle speciali esigenze dell'ingegneria civile in materia di opere d'arte, ed è il frutto delle ricerche avviate quindici anni fa per il ponte di Normandia¹⁴³ sui calcestruzzi ad alte prestazioni”*, ricorda Mouloud Behloul, direttore tecnico del settore Ductal® presso Lafarge. La resistenza del materiale, due o tre volte superiore rispetto a quella dei calcestruzzi ad alte prestazioni, è accompagnata da una certa resilienza¹⁴⁴ che rende il Ductal® un prodotto rivoluzionario, un brevetto aperto a ulteriori sperimentazioni e indagini; la sua composizione fibrata gli conferisce una grande plasticità, che lascia intravedere la possibilità di ulteriori

¹⁴² Per approfondimenti in merito al brevetto Ductal® consultare l'apparato A3 in allegato.

¹⁴³ Il ponte venne realizzato in Le Havre–Honfleur (Francia) nel gennaio del 2005, su progetto degli architetti François Doyelle, Charles Lavigne e Alain Montois.

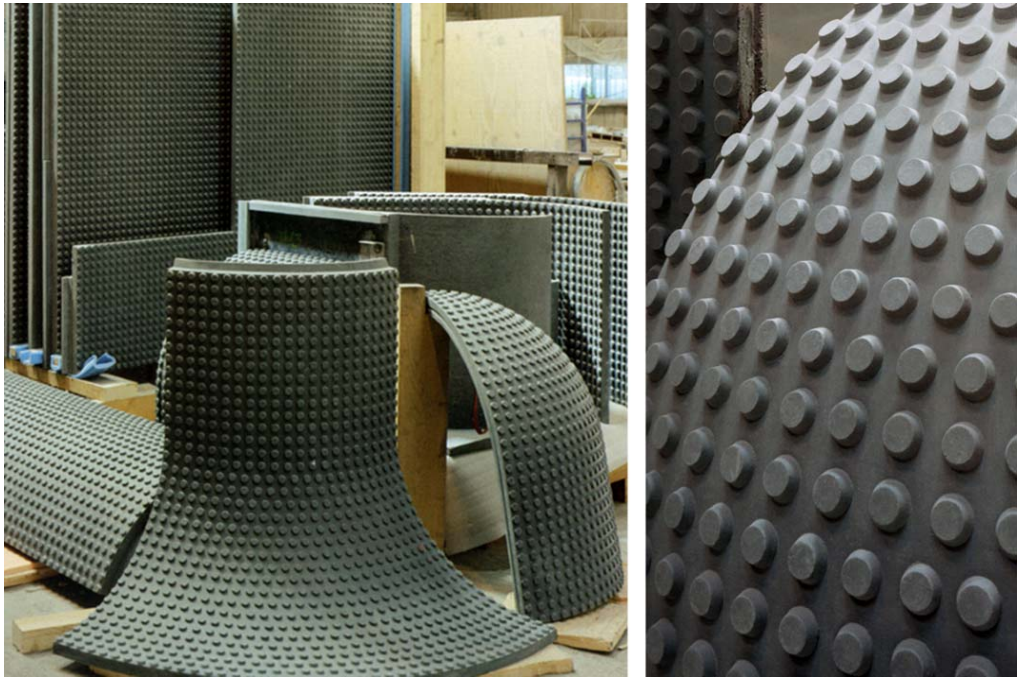
¹⁴⁴ Cfr. voce in glossario, apparato A1.



65. “Pelle” in Ductal[®], Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

promettenti impieghi. Consapevole delle caratteristiche vincenti del proprio prodotto, il gruppo Lafarge intende esplorare nuove occasioni espressive e ampliare i campi d’impiego. Per raggiungere questo obiettivo, Lafarge ha associato le sue competenze sulla composizione della miscela con i professionisti della posa in opera: lo sviluppo dei calcestruzzi innovativi passa necessariamente per la partnership e per l’informazione e sensibilizzazione dei progettisti invitati ad approfondirne le tecnologie. La sinergia di differenti competenze ha sollevato questioni diverse, spostando l’attenzione e l’interesse dalle performance strutturali all’aspetto del prodotto finito e alle trame tessute in superfici, in applicazioni talvolta inedite. *“Gli architetti pongono spesso domande che esulano dal campo d’applicazione immediato del materiale”*, constata Léopold Lombard, direttore del settore architettura di Lafarge.

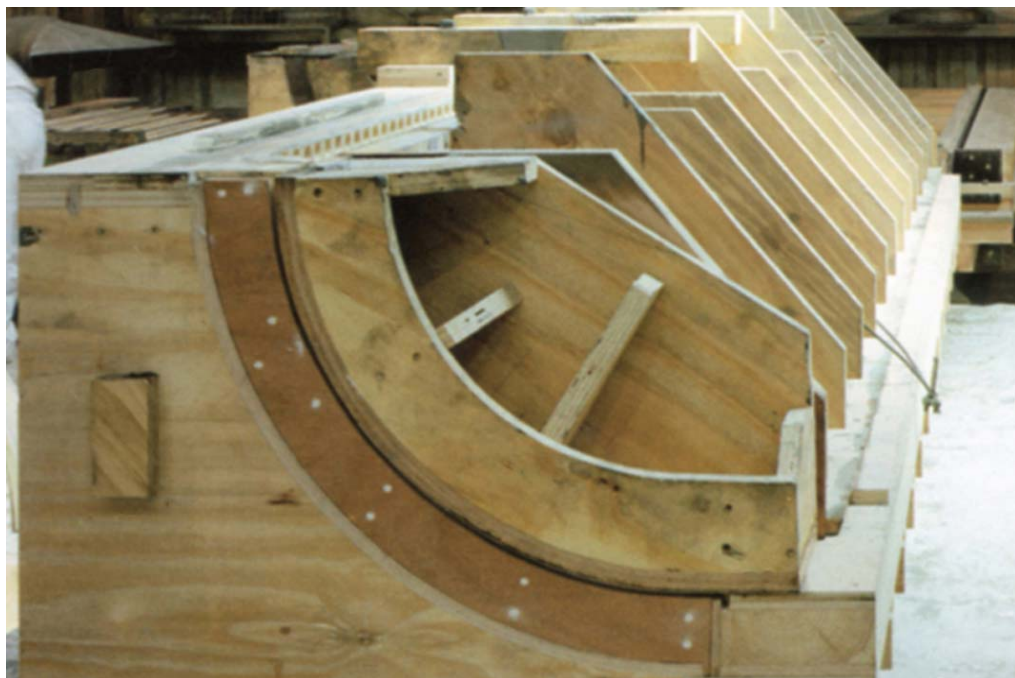
Il Ductal[®] è un prodotto che spinge verso una sperimentazione a più livelli, un calcestruzzo che richiede l’ottimizzazione del progetto e della messa in opera.



66. Pannelli prefabbricati in Ductal® per il Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

La duplice attitudine del materiale di rispondere a esigenze meccaniche, se composto con fibre di acciaio (Ductal® FM), o a requisiti più squisitamente estetici, se composto con fibre organiche (Ductal® FO), si adegua di volta in volta alle esigenze progettuali, privilegiando, dando priorità a una caratteristica piuttosto che a un'altra in ragione dell'approccio e del tipo di opera da realizzare. Per le sue eccezionali proprietà, Ductal® permette spessori ridotti garantendo performance straordinarie.

La durabilità dell'opera non è più dipendente dalla massa del materiale, dalla consistenza dell'involucro che si smaterializza in raffinate ed eleganti superfici dalle forme complesse, forate o decorate con finiture a prova di stampo. Naturalmente l'esigenza di posa in opera si sposta a monte del processo progettuale, per coinvolgere e mettere in campo la tecnologia delle casseforme e ottenere forme sofisticate e finite.



67. Cassaforma per pannello in Ductal[®], Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

Il Ductal[®]: materia di sperimentazione progettuale

Il Centro Bus di Thiais esplora il campo della prefabbricazione per comporre un guscio le cui forme avvolgenti emergono dal suolo per finire al coronamento, sagomando tutti gli spigoli, a esclusione dei tagli netti dei grandi campi vetrati colorati delle aperture.

“L’utilisation du Ductal[®], en mettant en résonance le concept du projet avec les performances structurelles et les qualités plastiques des bétons fibrés à ultra-hautes performances, a rendu possible cette homogénéisation toujours vertigineuse d’un bâtiment avec son support, en un même ensemble cohérent. Homogénéité physique, conceptuelle et plastique affichant des jeux de texture facilités par la souplesse du matériau et son aptitude à être moulé avec précision. Ainsi, les qualités de fini et de rigueur du Ductal[®] ont contribué à garantir à la vêture des retournements précis, continus, parfaitement raccordés. Cet épiderme de 3 cm d’épaisseur affiche une seule et même texture



68. Realizzazione pannelli in Ductal[®], Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

cinétique de picots en relief à la façon d'un jeu de LEGO : 24 mm de diamètre x 7 mm de hauteur, calepinés suivant un pas de 12 mm. Cela a aussi laissé aux utilisateurs la plus grande liberté quant aux choix sur les aménagements intérieurs. Le plan n'a pas de trame prédéterminée et a pu évoluer en fonction de leurs aspirations. Les ouvertures, le patio, les accès ont ensuite été incisés "au cutter" dans cette pellicule de béton."¹⁴⁵

Le proprietà meccaniche del materiale sono sfruttate al meglio per la realizzazione di lastre di grandi dimensioni, dello spessore di soli 3cm, che compongono l'involucro a guscio. Eppure, la prefabbricazione eseguita utilizzando fibre organiche (PVA, alcool polivinilico) si colloca ben al di sotto dei limiti immaginabili della materia. Il suo interesse risiede in modo

¹⁴⁵ Combarel, Emmanuel e Marrec, Dominique, *Dossier de presse Lafarge*, giugno 2007, p. 4.

particolare nella qualità dimensionale e nella finitura dei pannelli e dei pezzi stampati, in totale ben 378, di questa pelle minerale che avvolge l'edificio.

*“La nostra richiesta verteva sulla precisione della forma e del motivo a rilievo, il che suppone una grande capacità di gestione del ritiro, e del colore che è risultato influenzabile dalle condizioni di prefabbricazione”*¹⁴⁶ ricordano Emmanuel Combarel e Dominique Marrec.

La tecnica degli stampi di legno rivestiti di una matrice in polimeri ha permesso un controllo completo delle operazioni di stampaggio e di estrazione dello stampo, anche per i pezzi di forma più complessa, tridimensionalmente sviluppati in curvatura o controcurvatura. I piccoli e ripetuti rilievi che caratterizzano questa pelle e le scanalature per l'assemblaggio dimostrano la straordinaria attitudine del materiale a essere plasmato con precisione millimetrica. In compenso, il colore si è rivelato uno dei requisiti più difficili da gestire. Nonostante, infatti, i pigmenti introdotti nella massa (nero carbone), questa presenta leggere sfumature imputabili alla variazione di alcuni parametri: temperatura e umidità dell'ambiente, tempi di asciugatura legati alla dimensione dei pezzi, ecc.¹⁴⁷ L'ottimo lavoro dell'azienda di prefabbricazione Betsinor¹⁴⁸ non è stato sufficiente; *“bisognerebbe modificare le condizioni della produzione e intervenire in un ambiente controllato, quasi asettico”* riflettono gli architetti *“e ciò richiama in causa le pratiche dell'edilizia e si oppone a un'intera cultura del settore”*¹⁴⁹.

La posa in opera dell'involucro/pelle prefabbricato, sottile e quasi stagna, pone numerose altre questioni fin'ora ignorate: i raccordi e le connessioni vanno pensati in funzione della struttura portante. Pertanto si elabora un sistema di micro manicotti in acciaio inox, oggetto di un ATEX¹⁵⁰, da parte dell'organismo di certificazione (CSTB). Allo stesso modo si rivalutano tutte le

¹⁴⁶ Marrec, Dominique, in Ardenne, Paul e Lamarre, Francois, *Parkabus. ECDM. Emmanuel Combarel & Dominique Marrec architectes*, ediz. italiana, Silvana Editoriale, 2008, p. 20.

¹⁴⁷ *Ibid.*, p. 21.

¹⁴⁸ All'azienda francese Betsinor, leader nella produzione di elementi prefabbricati in calcestruzzo, è stata commissionata la realizzazione dei pannelli costituenti l'involucro del Bus Centre di Thiais.

¹⁴⁹ Marrec, Dominique, in Ardenne, Paul e Lamarre, Francois, *op. cit.*, p. 21.

¹⁵⁰ ATEX, avviso tecnico di sperimentazione.



69. Cantiere, Centro Bus RATP, ECDM, Thiais

performance connesse, in termini di isolamento, di condensazione e ventilazione, di tenuta stagna. Tutte le interazioni che agiscono sull'esito progettuale, modificano la logica abituale della produzione in campo edile, che così si innova e rinnova continuamente. A tutti i livelli il Ductal[®], come altri calcestruzzi fibrorinforzati ad altissime prestazioni, rimette in discussione il settore produttivo e la concezione dell'involucro costituito da elementi prefabbricati per l'aspetto innovatore e incredibile di un prodotto industrializzato e leggero. Ma il Ductal[®] non ha ancora finito di sperimentarsi, di trasformare il processo compositivo e l'espressività dell'involucro; il suo formidabile potenziale è commisurato alla sua capacità di arricchire la gamma degli esiti architettonici, ma soprattutto di intervenire sull'atto concettuale.

Il caso dell'ideazione e realizzazione del Centro Bus di Thiais è esemplare, chiarisce il ruolo dell'impiego di una miscela nel progetto dell'involucro *discreto*: un processo di definizione di un prodotto e di un metodo unico, originale, che apre orizzonti sempre superabili attraverso la materia e le sue attitudini. In effetti il Ductal[®] esisteva come brevetto prima del progetto di Emmanuel Combarel e Dominique Marrec, ma impiegato, per ogni singola applicazione precedente, secondo differenti modalità, qui si misura con un tema nuovo, rivelando nuove tecniche di produzione, risolvendo problemi già riscontrati in occasione di altre esperienze progettuali, studiando modalità del tutto innovative per la messa in opera, rispondendo a ogni specifico requisito sia in termini funzionali sia estetici. Il materiale partecipa al progetto in ogni sua fase, indirizzandola, perseguendo un risultato irripetibile e a volte inatteso e allo stesso tempo utile per le progettazioni e sperimentazioni future, contribuendo a costruire un *know how*, un punto di partenza comune che si caratterizza in occasione del progetto, il quale dunque diventa momento privilegiato d'indagine e di estensione degli esiti espressivi e dei requisiti tecnici fino a quel momento raggiunti. Nel caso del Centro Bus di Thiais, i progettisti non avevano immaginato l'esito come è poi risultato al termine dei lavori. La sua estetica particolare, piuttosto radicale e comunque poco comune, è il risultato di una materia attiva, il Ductal[®], che affianca la progettazione definendola per gradi, frutto di un'esperienza a sé stante. La nozione di prototipo acquista concretezza con la materia che agisce nel progetto e nella definizione di un esito del tutto inedito ed esclusivo.

IL LILLE MÉTROPOLÉ MUSEUM OF MODERN ART



Il Lille Métropole Museum of Modern Art a Villeneuve d'Ascq

L'ampliamento del Museo d'Arte Moderna di Lille (2010) di 3.200 mq ad opera dell'architetto francese Manuelle Gautrand, è stato concepito per distinguersi dall'edificio esistente progettato nel 1983 da Roland Simounet.¹⁵¹

Un insieme di linee fluide e continue, che sembra protendersi verso il paesaggio naturale circostante il parco di Villeneuve d'Ascq, si aggiunge alle gallerie esistenti, per ospitare una collezione di opere di "outsider art" o "art brut". Il prolungamento, che avvolge i lati nord ed est dell'esistente, instaura un dialogo tra le geometriche facciate in mattoni rossi e i bianchi bracci in calcestruzzo traforati all'estremità per filtrare la luce e proteggere le opere esposte all'interno. La superficie liscia in calcestruzzo non trattato, con modanature e schermi traforati, presenta una tonalità di colore tenue che varia a seconda dell'intensità della luce, mentre le pieghe dei volumi rendono lo spazio meno rigido e più organico, dinamico; i visitatori possono scoprire le opere d'arte in un movimento graduale e proiettarsi verso l'esterno attraverso i coni visivi traforati posti a conclusione di ognuna delle nuove gallerie espositive.¹⁵²

*“Notre parti pris esthétique et technique est guidé par trois objectifs”, spiega Manuelle Gautrand, “L'ensemble du musée conçu par Roland Simounet est très minéral. Nous souhaitons donc nous inscrire dans la continuité de cette réalisation en respectant le soin apporté, en son temps, dans le choix des matériaux. Par ailleurs, les œuvres d'art brut sont souvent fragiles et nous voulions les protéger tout en favorisant un éclairage naturel. Enfin, cette partie du musée donne sur un très beau parc et il était intéressant d'inscrire notre travail dans ce contexte végétal. Le voile en Ductal® permet de répondre simultanément aux objectifs fonctionnels et esthétiques que nous recherchions.”*¹⁵³

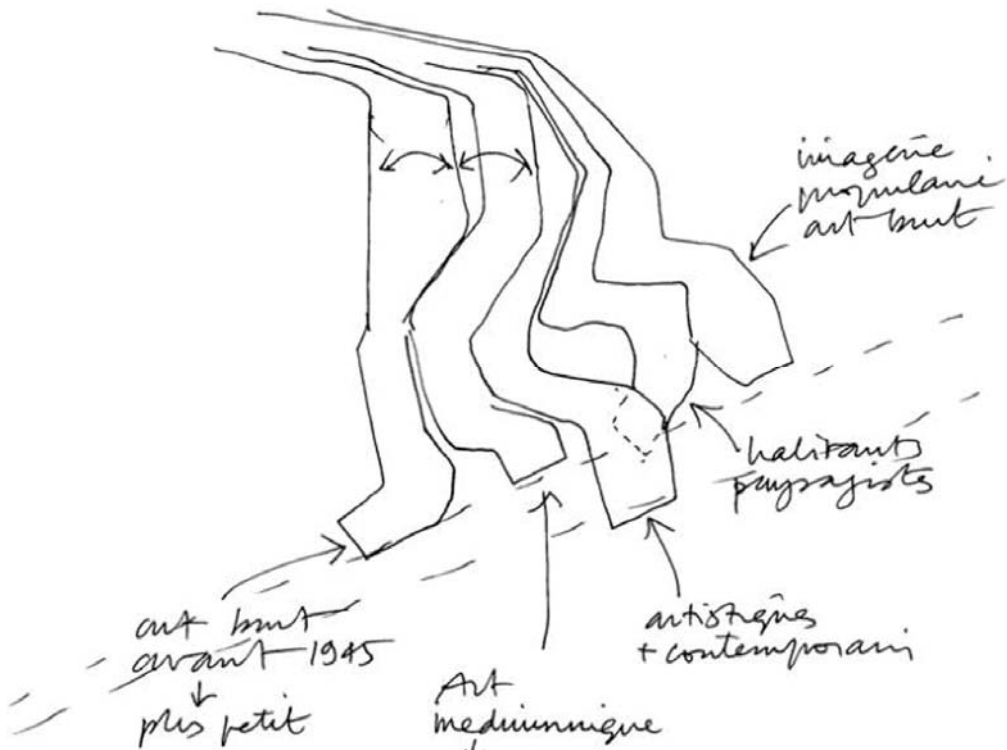
Le superfici traforate in Ductal®

La *mousse* di calcestruzzo, Ductal®, permette, dunque, la concezione e

¹⁵¹ Cfr. AA. VV., *Lille Métropole rouve son musée d'Art moderne rénové et étendu*, in “LeMoniteur”, n. 5573, Edizione LeMoniteur, settembre 2010, p. 8.

¹⁵² Cfr. Le Gac, Christophe, *Manuelle Gautrand Architect*, NeoArchitecture, 2005, pp. 66-73.

¹⁵³ Gautrand, Manuelle, in *Tous les témoignages*, pagina web <http://www.ductal-lafarge.fr>.



70. Schema concettuale, LAM, Gautrand, Villeneuve d'Ascq, 2010

definizione di pannelli prefabbricati traforati che smaterializzano il volume all'estremità delle lunghe braccia organiche delle gallerie espositive e compongono una sorta di arabesco lasciando filtrare la luce naturale all'interno delle sale. Come la stessa Gautrand dichiara:

“Ce qui nous intéressait le plus était cette possibilité de réaliser une vraie dentelle de béton avec un fini lisse, mat, clair, très sobre et très soigné. D'un point de vue technique, le Ductal® offre l'avantage de permettre cette sculpture sur des plaques de béton extrêmement fines - entre 7 et 9 cm soit presque trois



71. Vedute, LAM, Gautrand, Villeneuve d'Ascq

*fois moins qu'en béton classique. Nous réglons ainsi le problème de poids, de facilité d'accrochage et de mise en œuvre devant les baies vitrées.*¹⁵⁴

I ritagli di luce lungo l'involucro delle gallerie rendono lo spazio meno rigido, accompagnando i visitatori alla scoperta delle opere d'arte in un cammino graduale, all'estremità del quale lo sguardo dello spettatore confluisce in un magnifico anfratto di parco circostante svelato dalla superficie che si assottiglia e svanisce in un gioco di raffinati intarsi. I pannelli pieni, che costeggiano le gallerie, per cui si impiega un calcestruzzo tradizionale, presentano una superficie liscia che ripropone, in alcuni punti, il motivo biomorfo degli

¹⁵⁴ Gautrand, Manuelle, *Lille Métropole Museum of Modern Art*, in "Crescendo Lafarge", aprile 2011, p. 9.



72. Veduta esterna, LAM, Gautrand, Villeneuve d'Ascq

elementi traforati che qui disegna un bassofondo di 3cm con bordi smussati, impresso mediante una matrice integrata nella cassaforma. I 32 stampi riutilizzabili sono realizzati in fogli di compensato, rivestito da uno strato di poliuretano per facilitare il disarmo ed evitare strappi, mentre quelli per le parti che presentano particolarità geometriche, sono sagomati in pezzi unici impiegando MDF rivestito da una pellicola in resina, perciò utilizzabili una volta sola. La scelta di realizzare questi pannelli in opera è stata guidata dalla volontà di evitare sgradevoli giunti tra i pannelli e di conservare lo spirito organico del progetto, mentre l'adozione di casseri in legno è dettata dalla flessibilità di utilizzo, viste le grandi dimensioni delle pennellature che in alcuni punti raggiungono i 12m di altezza. La realizzazione dei 250mq di pannelli traforati dello spessore di 9cm non avviene in opera, ma la prefabbricazione è a cura dell'azienda produttrice Betsinor che adotta, in



73. Veduta interna, LAM, Gautrand, Villeneuve d'Ascq

forma sperimentale, una tecnica di iniezione a vuoto ereditata dalle materia plastiche.¹⁵⁵ Ma il requisito forse più importante che la ditta produttrice ha dovuto assicurare, è stata l'accurata precisione nel posizionamento degli elementi all'interno della cassaforma per generare i vuoti, al fine di evitare discontinuità del motivo nell'accostamento. Questa volta si è scelto il Ductal[®]-FO[®] bianco per realizzare i pannelli prefabbricati, minimizzando il rischio di carbonatazione e garantendo una perfetta diffusione nello stampo. Il suo colore bianco si riproduce esattamente anche per le parti gettate in opera in modo tale da garantire una perfetta corrispondenza anche se tra calcestruzzi differenti. Ogni pannello traforato è sorretto da una trave in cemento armato e alla base legato a una lastra attraverso dei supporti e inserti metallici.

¹⁵⁵ Cfr, AA.VV, *Musée d'art moderne, Villeneuve d'Ascq Manuelle Gautrand*, in "AMC", n. 202, Edizione LeMoniteur, gennaio 2011, p. 88.

IL MATSUMOTO PERFORMING ARTS CENTER



Il Matsumoto Performing Arts Centre

Rannicchiato in un quartiere densamente abitato di Matsumoto, l'edificio inaugurato nel 2004 del Performing Arts Centre¹⁵⁶ progettato da Toyo Ito & Associates, è una forma sinuosa, quasi un embrione, che dialoga delicatamente con i suoi dintorni. L'Auditorium, infatti, è espressione dello stretto rapporto esistente tra l'idea e la concreta configurazione dello spazio architettonico, secondo un approccio che da sempre vede l'architetto giapponese impegnato nella ricerca di un vocabolario ridotto di elementi formali con cui dare vita ad un organismo capace di innescare un processo di interazione interno-esterno di grande suggestione. La capacità di associare i vincoli derivanti dal contesto fisico e quelli legati alla destinazione d'uso dell'edificio ad un'idea precisa di spazio, fluido, quasi impalpabile, genera un organismo dalla sagoma irregolare chiuso all'interno di un involucro continuo e monomaterico che lo separa dal tessuto costruito della città, una sorta di "paesaggio" a sé stante nel paesaggio urbano.¹⁵⁷ L'impianto del Matsumoto Centre assume le morbide fisionomie della custodia di uno strumento musicale, con l'ingresso posizionato a nord, prospiciente la strada. Viste le anguste dimensioni della punta del lotto, qui Toyo Ito risolve il problema creando una zona di rispetto ampia e protetta per l'accesso del pubblico; egli adotta un avancorpo curvo, aperto da una grande finestra, sollevato su sottili *pilotis* in modo che il piano terra possa essere arretrato e completamente vetrato, mentre il volume superiore funziona come una sorta di pensilina. Il muro curvo prosegue lungo il fronte ovest fino ad avvolgere il profilo ovale della sala teatrale a sud, per poi proseguire su parte del lato a est: dietro questo schermo si cela il *foyer*, concepito come un'estesa *promenade architecturale*, scandita da sottili colonne metalliche verniciate di bianco.

A questo proposito Toyo Ito afferma:

¹⁵⁶ Cfr. AA.VV, *Toyo Ito 2001-2005*, in "El croquis", n. 123, 2005, pp. 6-15, 122-151.

¹⁵⁷ Cfr. AA.VV, *Auditorium e centro culturale Matsumoto, Nagano, Giappone*, in "Industria Italiana del cemento", XXXVIII, n. 380, novembre-dicembre 2004, pp. 84-91.



74. Matsumoto Performing Arts Centre, Ito, 2004

“La curva gentile del muro esterno venne disegnata ripetutamente, mentre studiavamo con attenzione la relazione tra l’ambiente circostante e l’interno [del teatro].”¹⁵⁸

¹⁵⁸ Ito, Toyo, in Nakayama, Hideyuki e Ito, Toyo, *Matsumoto Performing Arts Center*, in “GA Theatre”, numero speciale a cura di Yukio Futagawa, n. 4, 2006, p. 310.



75. Vedute interne, Matsumoto Performing Arts Centre, Ito

La “cortina” in calcestruzzo

La forma sinuosa delle pareti, i materiali e la luce sono studiati così da formare una suggestiva sequenza di percorso, e i pannelli di calcestruzzo con inserti di vetro opalescente disposti in modo casuale su tutta la superficie dell’involucro murario rendono questa “pelle” omogenea e sensibile, capace di reagire ai cambiamenti dell’ambiente interno ed esterno e di offrire un’immagine continuamente mutevole. Inizialmente, nel progetto di concorso, il muro

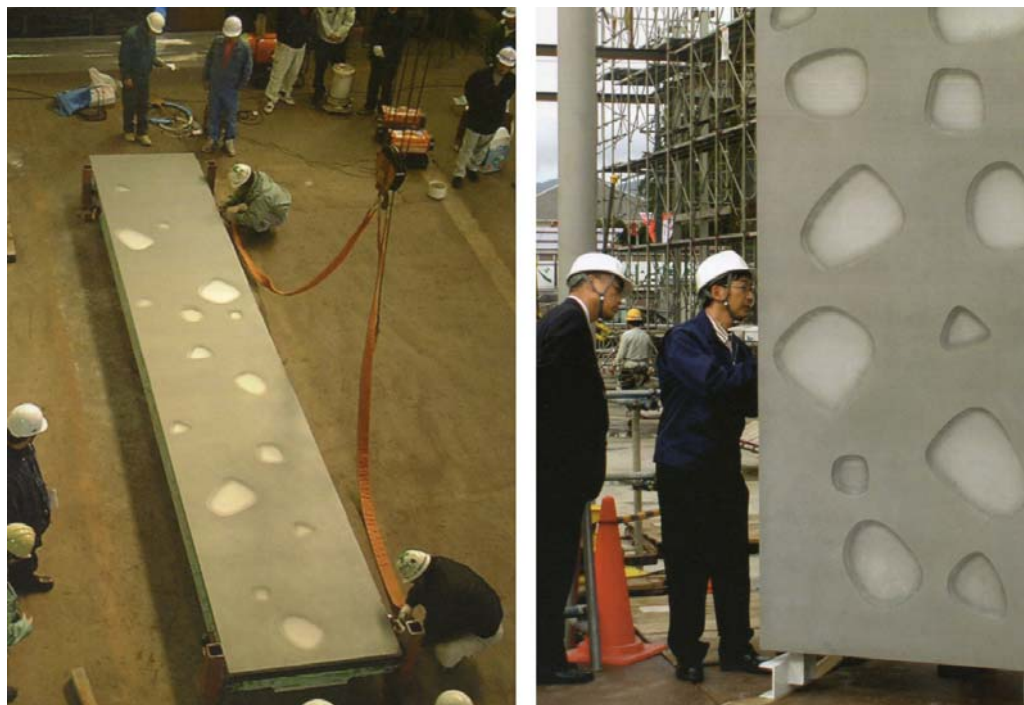


76. Realizzazione pannello, Matsumoto Performing Arts Centre, Ito

perimetrale è vetrato, ma la committenza suggerisce l'impiego di pannelli in alluminio o, in alternativa, di una "cortina"¹⁵⁹ in calcestruzzo. Partendo da questa ipotesi, Toyo Ito sceglie di utilizzare un calcestruzzo rinforzato con fibre di vetro¹⁶⁰ per realizzare pannelli di cemento precompresso, impreziosito da circa 20.000 piccoli oblò vetrati, trasparenti e traslucidi, di foggia irregolare. I singoli pezzi di vetro vengono disposti e bloccati sul fondo della cassaforma in metallo seguendo una posizione stabilita, disposta, attraverso un accurato disegno, dal progettista. Il calcestruzzo, colato all'interno della cassaforma, si distribuisce uniformemente nello stampo grazie alla sua composizione fibrata. Una volta disarmata, la superficie viene ulteriormente lavorata applicando uno strato protettivo, in quanto è proprio l'interfaccia calcestruzzo/elemento

¹⁵⁹ Lanzarini, Orietta e Muffato, Alberto, *op. cit.*, p. 256.

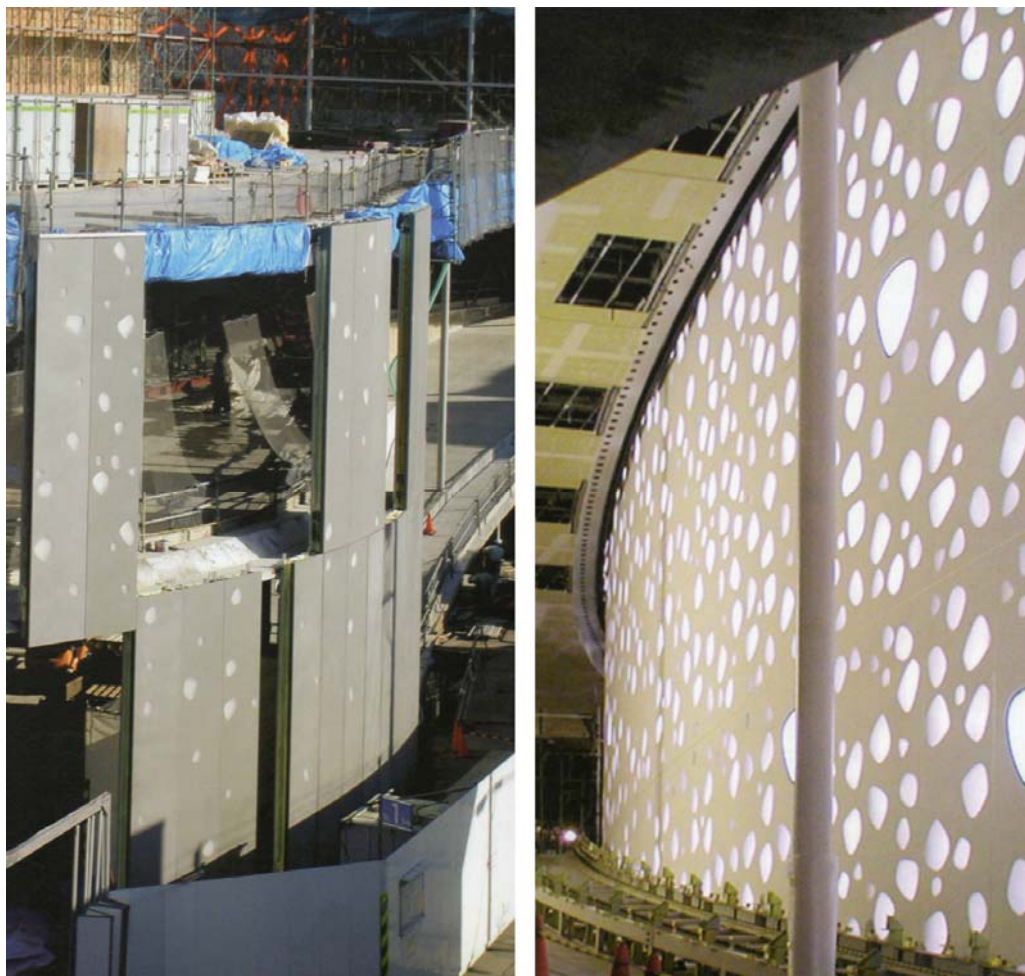
¹⁶⁰ Glass Reinforced Concrete, GRC.



77. Pannello in GRC, Matsumoto Performing Arts Centre, Ito

vetrato, a richiedere maggiore attenzione per possibili infiltrazioni, è proprio la natura “composta” del disegno a generare problemi di natura tecnica.

I pannelli in calcestruzzo così concepiti, assemblati, rivelano un esito espressivo ben preciso, un intento progettuale molto chiaro: offrire l’edificio alla percezione dei sensi, aprendosi a una dimensione nuova, a un’esclusiva esperienza sensoriale. Questa dinamica si rivela sia all’interno sia all’esterno del Matsumoto Center; la lunga parete è costituita da due pannelli montati a sandwich sorretti da un telaio d’acciaio e il disegno viene riproposto simmetricamente da entrambe i lati, definendo uno spazio che non ha un fronte e un retro. Il muro in calcestruzzo si rivela come una sottile pelle che varia in densità e porosità, delimitando una sorta di organismo che vive in simbiosi con il mutare della luce ambientale e delle condizioni atmosferiche. Mentre di notte è la luce artificiale ad animare le forme.



78. Montaggio pannelli in GRC, Matsumoto Performing Arts Centre, Ito

“La lunga parete, che al mio arrivo era una costellazione di forature retroilluminata dai raggi del sole al tramonto, di notte si era trasformata in un lungo nastro brillante inondato dalla luce che emanava dai faretti incassati nel pavimento.”¹⁶¹

¹⁶¹ Suzuki, Akira, *Memorie di galleggiamenti embrionali*, in “Domus”, n. 874, ottobre 2004, p. 22.

All'interno o tangenzialmente all'involucro in calcestruzzo si inseriscono i corpi funzionali - spazi di servizio, sala minore, palcoscenico, sala maggiore - secondo una gerarchia rigorosa; ciascuno di essi è denunciato da uno scarto nella composizione in pianta e in alzato, cui corrisponde anche un cambio di materiale. Ito nota a proposito:

*“La cosa interessante in una creazione non è muoversi in su un percorso lineare, ma fare qualcosa pur senza vederne la fine, con la volontà di scoprire che cosa ci può essere di nuovo.”*¹⁶²

¹⁶² *Ibid.*, p. 36.

6. Variabili tecnologiche - Variabili progettuali. Verso la definizione di un protocollo di metodo per la progettazione di un pannello prefabbricato di facciata in calcestruzzo

La lettura fornita finora dei casi progettuali, in riferimento alla produzione architettonica contemporanea del panorama internazionale, consente di formulare una nuova visione critica, una dimensione interpretativa che mette a sistema tematiche che derivano dall'interpretazione del processo creativo del progetto dell'involucro *discreto* attraverso l'impiego sperimentale delle miscele cementizie innovative ad alte prestazioni. L'analisi dei casi studio proposti, rivela come l'esito del processo progettuale sia la definizione di un elemento prefabbricato di facciata che qualifica l'involucro dell'organismo architettonico e, al contempo, come la miscela cementizia innovativa diventa "materia", occasione di indagine e sperimentazione espressiva. L'azione di innovazione e sperimentazione che suggerisce l'impiego dei calcestruzzi ad alta prestazione, conduce, da un lato, alla definizione di esiti espressivi del tutto inediti e dall'altro alla determinazione di nuove modalità progettuali, di nuovi protocolli di metodo che investono il processo creativo stesso. Pertanto se il pannello prefabbricato in calcestruzzo è elemento prototipico di facciata, il processo progettuale assorbe il concetto di definizione di prototipo. Questa riflessione si traduce in un contributo originale: uno schema matriciale¹⁶³, un sistema che mette in relazione, che intreccia le miscele di calcestruzzi ad alte prestazioni, le soluzioni tecnologiche possibili nella realizzazione e messa in opera all'esito espressivo atteso, proponendosi sia come definizione di un possibile metodo per la realizzazione di un pannello prefabbricato di facciata in calcestruzzo sia come criterio di classificazione delle esperienze progettuali contemporanee.

Nell'elaborazione dello schema, del prospetto espresso in forma di matrice, si definiscono tre momenti che caratterizzano l'iter progettuale, tre circostanze non definibili a priori, non programmatiche, ma comunque ricorrenti, indicate con il termine di **variabili tecnologiche** perché proprie di ogni singolo progetto che diventa così unico e irripetibile, e cioè:

¹⁶³ Lo schema matriciale "*variabili progettuali/tecnologiche*" è allegato al termine di questa terza parte.

- la scelta e l'eventuale mutazione della **miscela** cementizia;
- la tipologia di **cassaforma**;
- il sistema di **assemblaggio** dei pannelli.

Definita la miscela è come se si scegliesse un orientamento possibile della sperimentazione: un calcestruzzo fibrorinforzato, ad esempio, suggerisce una lavorabilità differente rispetto a una qualsiasi altra miscela cementizia anche semplicemente per la presenza delle fibre, suggerendo e indirizzando verso estensioni formali differenti da un altro calcestruzzo. Difatti la produzione contemporanea mostra come la ricerca espressiva che privilegia i calcestruzzi addizionati con fibre organiche, mira verso la perdita di materialità della parete, pervenendo spesso a un alleggerimento della superficie costituente l'involucro, generando elementi molto forati e dall'aspetto traslucido; le fibre sottilissime si dispongono nello stampo in modo uniforme, senza vuoti, si adattano a qualsiasi geometria, garantendo stabilità anche nell'ipotesi di una traforatura molto spinta, proprio per le eccezionali caratteristiche meccaniche di queste miscele. Scelta la tipologia della miscela è possibile variare la sua composizione, aggiungere componenti, sottoporre a speciali trattamenti termici o perfezionare alcune caratteristiche in ragione dei progressi nanotecnologici; si studiano pertanto nuove formulazioni in ragione degli esiti espressivi e delle prestazioni meccaniche desiderate.

La tipologia della cassaforma da impiegare, il tipo di materiale con cui realizzarla e trattarla successivamente, la sua conformazione geometrica rappresentano passi successivi verso la definizione di un pannello di facciata prefabbricato in calcestruzzo strettamente connesso alla miscela con cui si lavora e all'esito espressivo atteso. Ad esempio, la scelta di lavorare con un calcestruzzo rinforzato con fibre organiche, data l'incredibile duttilità e affidabilità dell'impasto, che si presenta con una consistenza simile a una *mousse*, spingerebbe verso la definizione di forme dalle curvature complesse e motivi elaborati o texture da riprodurre in superficie. Le nuove geometrie e accurate rese superficiali, si sperimentano attraverso una progettazione di casseforme che riguarda sia il materiale di cui sono costituite o rivestite che la loro geometria, verso una prototipizzazione di matrici supportata dai potenti

mezzi informatici. Mentre le tradizionali casseforme in legno si completano con strati di rivestimento (resine) che agiscono sia sul disarmo, rendendolo più agevole e sicuro, sia sulla qualità finale della superficie. Per altro verso, sempre più spesso, si adottano casseforme innovative che abbandonano i materiali tradizionalmente usati per pannelli in calcestruzzo, legno o ferro, per optare per materie plastiche, come il silicone, che per la loro flessibilità, spingono la ricerca formale verso sagome precedentemente impensabili.

La modalità di assemblaggio del pannello prefabbricato interviene nel processo sia creativo sia tecnologico in ragione del fatto che si può concepire come parte integrante dell'elemento in calcestruzzo già a partire dalla sua ideazione o studiare rispetto a un sistema di supporto aggiuntivo, come un telaio metallico o altro sistema di sostegno. La scelta di una determinata soluzione di messa in opera e l'eventuale sperimentazione di un sistema studiato ad hoc, concorrono insieme a un risultato finale che soddisfi i requisiti sia estetici sia tecnici prefissati. Nel caso del progetto dell'involucro per il Centro Bus a Thiais, la connessione tra i pannelli prefabbricati in calcestruzzo oltre a garantire una tenuta stagna ottimale, doveva restituire una superficie emergente dal suolo, come se facesse parte del terreno stesso, in perfetta integrazione con l'ambiente circostante. Questi requisiti portano a un sistema di micro manicotti in acciaio inox, oggetto di un ATEX, da parte dell'organismo di certificazione (CSTB), elaborati per l'occasione.

Pertanto, se il punto di partenza è la scelta di una determinata miscela, modificandola, progettandone lo stampo ed elaborando una nuova modalità di assemblaggio, magari dipendente dalla conformazione geometrica del pannello stesso, il punto di arrivo è la definizione di un risultato originale, e le fasi intermedie si configurano come processi anch'essi innovativi e sperimentali. Ogni progetto è luogo di un'esperienza nuova, definizione di una strategia; ogni miscela è chiamata a modificarsi, a reinventarsi con e per il progetto, ogni esito è unico e irripetibile, l'insieme costituisce un *know how* in continua definizione. Concepire ogni nuovo progetto e il progetto stesso come un'avventura da intraprendere, da definire di volta in volta e rispetto alla quale ripartire, stimola e muove più velocemente la ricerca architettonica verso inedite, inaspettate e avanzate espressioni linguistiche, che intrecciano

materiali innovativi mutevoli e soluzioni tecnologiche ed espressione estetica con eleganza, ricercatezza.

Le tre questioni tecnologiche, dalla scelta della miscela alla modalità di assemblaggio, a cui il progettista e le altre competenze specialistiche coinvolte sono chiamati a rispondere, si assorbono nell'elaborazione progettuale, nel processo creativo che muove verso un determinato esito linguistico definendo nuove e implementabili metodi progettuali. E così alla gamma delle scelte di natura tecnologica che caratterizzano il processo realizzativo, si possono connettere altre **variabili progettuali** in riferimento all'esito espressivo prefigurabile, orientamenti del processo propriamente creativo, possibili opzioni nel progetto dell'elemento discreto, pannello, costituente l'involucro; ognuna di esse prefigura un esito espressivo differente, lavorando sui temi del superamento dell'opacità, pesantezza e ruvidità, caratteristiche attribuite da sempre al calcestruzzo. Qui il termine *variabili* indica sì la non esatta definizione a priori del risultato creativo, perché di volta in volta del tutto nuovo, ma anche la possibilità di implementare, arricchire le opzioni creative possibili e quindi di prefigurare nuovi temi progettuali. Pertanto la definizione del brevetto non termina con il raggiungimento di un risultato, il pannello, non individua delle modalità progettuali definitive giacché il caso reale può divenire caso studio, punto di partenza per ampliare e arricchire sia l'impostazione concettuale sia le modalità tecniche di realizzazione aprendo così indirizzi, estensioni espressive del tutto inedite per il progetto dell'involucro *discreto* in calcestruzzo.

Attualmente, attraverso la lettura degli esempi precedentemente citati e descritti, si individuano tre opzioni espressive possibili per l'involucro discreto, di cui si propone una concettualizzazione sintetica attraverso le tre parole chiavi di **filtro**, **trama** e **composto**. Con il termine *filtro* si indica un involucro architettonico costituito da pannelli traforati; la superficie dell'involucro perde massa, si assottiglia e si svuota come una trina che non isola l'interno dell'edificio dall'esterno, non genera una cesura nello spazio ma innesta una comunicazione tra le due spazialità. Per *trama*, invece, si fa riferimento a una superficie composta da pannelli con impresso un motivo, una texture riportata a rilievo che restituisce singolarmente o nella sua composizione una particolare

C
O
M
P
O
S
T
O

***Matsumoto Performing Art Center_Tokyo / T. Ito / 2004**



calcestruzzo con fibre di vetro, GRC

stampi in legno con posizionati all'interno
elementi in vetro

montati a sandwich su un telaio
di supporto in acciaio

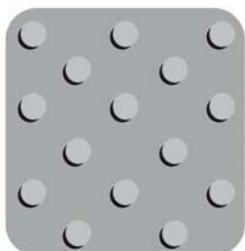
***Louis Vuitton Store_Tokyo / J. Aoki & associates / 2003**



calcestruzzo con fibre di vetro, GRC

stampi in legno con posizionati all'interno
elementi in marmo

montati su un telaio portante in acciaio

T
R
A
M
A

***Bus Centre RATP_Thiais / ECDM / 2007**



calcestruzzo con fibre organiche

stampi di legno rivestiti
con una matrice in polimeri

micro manicotti in acciaio inox

***Nottingham Contemporary / Caruso St John / 2009**



calcestruzzo con fibre di vetro, GRC

cassaforma in legno rivestita
con matrice in resina

elementi metallici di connessione
a struttura portante

T
R
I
N
A

*Les Enfants du Paradis_Chartres / R. Ricciotti / 2008



calcestruzzo ad altissima resistenza

matrice in lattice
prodotta da calco in argilla
con impresse impronte digitali

sistema verticale di supporto
a cavi metallici

*Lam_Villeneuve d'Ascq / M. Gautrand / 2007



calcestruzzo bianco con fibre organiche

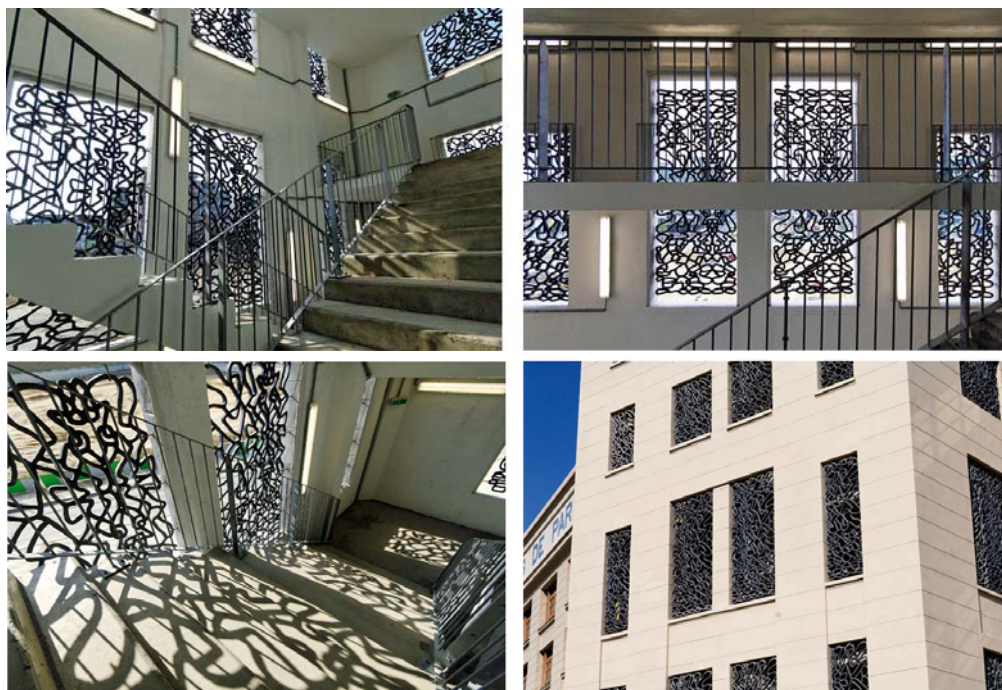
matrici in fogli di compensato
rivestiti da uno strato di poliuretano

appeso a una trave in c.a. e fermato alla base a
una lastra con supporti metallici

80. Lettura dell'involucro secondo la variabile progettuale *trina*

disegno; l'involucro architettonico sembra così come intessuto, rivelando una particolare tridimensionalità. E infine con *composto* si individua un pannello arricchito dall'innesto di un altro materiale opaco o trasparente, eterogeneo dal calcestruzzo, che rivela un disegno sulla superficie dell'involucro, addizionato al momento della gettata e concepito pertanto come *composto* già all'atto dell'ideazione del pannello stesso; l'involucro così si impreziosisce di colori, di trasparenze, di nuove mineralità.

Inoltre, per i diversi esiti espressivi individuati, si può individuare un fattore che interviene trasversalmente alle tre variabili progettuali, definito con il termine *densità* che indica la concentrazione delle traforature per il *filtro*, della texture impressa per la *trama*, degli elementi che affiorano in superficie per il *composto*; così il pannello prefabbricato di facciata in calcestruzzo, secondo una *disposizione regolare* o *irregolare*, acquista così differenti esiti di trasparenza, di tessitura, di figurazione a seconda del grado di ripetizione e ordinamento del singolo foro, del motivo a rilievo, del pezzo aggiunto.



81. Griglie in calcestruzzo, Grands Moulins, Ricciotti, Parigi

Dello schema matriciale si propone una lettura che percorre le variabili secondo due versi differenti: possono essere le scelte tecnologiche a condurre a un esito espressivo, può essere il risultato atteso a guidare le fasi progettuali, inglobando così le variabili tecnologiche nel processo creativo stesso. Questo significa che il progettista può partire da un'idea e sperimentare un processo che la renda concreta o partire dalla scelta di una tecnologia e, attraverso la sperimentazione, spingere la propria immaginazione verso un esito non definito a priori. Il rapporto biunivoco che intercorre tra variabili progettuali e tecnologiche si convalida se si pensa alle attuali esperienze progettuali di Emmanuelle Combarel e Dominique Marrec e di Rudy Ricciotti, chiarendo pertanto come nella realizzazione di un pannello di facciata con miscele innovative, l'esito prefigurato può essere il punto di partenza o viceversa. I progettisti francesi indagano nuove forme espressive per l'involucro attraverso la sperimentazione sui calcestruzzi di ultima generazione; Ricciotti



82. Realizzazione griglie in calcestruzzo, Grands Moulins, Ricciotti, Parigi

inizialmente testa il nuovo materiale, Ductal[®], con curiosità, per poi successivamente renderlo strumento di indagine espressiva, spingendo la ricerca verso nuove dimensioni percettive. Basti pensare al progetto del **Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée** a Marsiglia in cui è la materia a mettersi a servizio di un'idea, di un'intuizione per poi diventare oggetto di sperimentazione espressiva nelle “griglie” che ricoprono le aperture del **Grands Moulins de Paris** (2006).

Acquisite le potenzialità del materiale e le sue attitudini, conquistate nuove conoscenze sulle possibilità tecnologiche, in questo progetto si esaspera il concetto di trina del Museo di Marsiglia¹⁶⁴, si supera la funzione di *filtro*, di parete frangisole, realizzando un pannello che richiama le eleganti ringhiere del

¹⁶⁴ Cfr. AA.VV, *Architectures du béton. Nouvelles vague, nouvelles recherches*, a cura di Jean-Louis Cohen e G. Martin Moeller Jr, cit., pp. 228-231.



83. Particolare pannello in calcestruzzo, Les Enfants du Paradis, Ricciotti, Chartres, 2008

XIX secolo parigine che aggiunge un nuovo senso di profondità, un altro strato alla storia dell'edificio già esistente, un gioco di luci e ombre, un motivo finemente disegnato. La funzione del pannello è qui elemento di chiusura parzialmente schermante e permeabile all'aria.¹⁶⁵ Attraverso un unico stampo in silicone realizzato attraverso un calco in argilla fatto a mano, si fonde nelle piccole fessure il calcestruzzo ad alte prestazioni addizionato con fibre di vetro; successivamente i pezzi vengono tagliati su misura e adattati alle diverse dimensioni delle finestre *“The goal was to express the technical and aesthetic qualities of this kind of concrete”*¹⁶⁶, afferma l'architetto francese Arthur de Chatelperron del gruppo *“Trust in Design”*¹⁶⁷ che collabora al progetto assieme

¹⁶⁵ Cfr. Lucente, Roberta e Trasi, Nicoletta, *op. cit.*, p. 43.

¹⁶⁶ De Chatelperron, Arthur, in Terri, Peter, *Trust In design. Mixes concrete with fibreglass*, in *“Mark”*, n. 22, 2010, pp. 210-211.

¹⁶⁷ Studio fondato nel 2004 da Etienne Vallet, Arthur de Chatelperron e Joran Briand, si occupa di progetti architettonici, di design e graphic design.



84. Particolare facciata, Les Enfants du Paradis, Ricciotti, Chartres

a Ricciotti. Nella tromba delle scale ci si può avvicinare ai pannelli-ringhiera, sorprendersi di scorgere impronte digitali lasciate per la presenza delle fibre di vetro. Sempre de Chatelperron infatti dichiara:

“Fingerprints have been deliberately made to give a craft-like aspect to the work. These are our finger impressions in combination with those of Rudy Ricciotti” e ancora *“The intention was to express the handcraft involved in the making of the panels.”*¹⁶⁸

L’interesse di Ricciotti per la qualità materia del calcestruzzo e la natura artificiale dei suoi componenti, trova dunque qui una ulteriore espressione in

¹⁶⁸ De Chatelperron, Arthur, in Terri, Peter, *Trust In design. Mixes concrete with fibreglass*, cit., p. 210.



85. Realizzazione pannello, Les Enfants du Paradis, Ricciotti, Chartres

chiave simbolica.¹⁶⁹ Innovazione, artigianalità e carica espressiva, le qualità del calcestruzzo che inducono Ricciotti ad eleggerlo materiale privilegiato per le sue sperimentazioni progettuali. E infatti l'esperienza del Grands Moulins de Paris due anni dopo, nel 2008, si è messa a servizio della realizzazione della facciata di **Les Enfants du Paradis** a Chartres. Questa volta è il processo creativo a guidare l'azione progettuale; le tecnologie ormai acquisite e verificate con le griglie del Grands Moulins, restituiscono una facciata composta da ben settantadue pannelli assemblati assieme da un sistema di cavi d'acciaio verticali sottilissimi, che si mostra come se fosse autoportante; il sottile gioco di linee diventa una seconda pelle, un velo leggerissimo che protegge il prospetto storico dell'edificio. Gli stampi che generano i settantadue pannelli questa volta sono tre e vengono realizzati attraverso

¹⁶⁹ Cfr. Lucente, Roberta e Trasi, Nicoletta, *op. cit.*, pp. 10-24.



86. Liquid Wall Prototipe, esposizione all'AIA di New York, ottobre 2010

macchine a controllo numerico: niente impronte, è l'elemento scenografico, l'impatto visivo a prevalere sull'artigianalità dell'opera.¹⁷⁰

Sebbene siano ancora pochi i progettisti che indagano nuovi temi espressivi dell'involucro discreto in calcestruzzo attraverso la sperimentazione nel processo creativo e tecnologico e quindi la definizione delle variabili proposte, le realizzazioni cominciano oggi a essere numerose e ad avere rilevanza anche nella letteratura internazionale. Alle esperienze progettuali citate, si affiancano realizzazioni di singoli elementi di facciata, che non rispondono alla realizzazione di un'opera, ma sottolineano l'interesse progettuale e scientifico verso questo nuovo tema. Aziende produttrici, infatti, collaborano con centri di ricerca universitaria e misurano quanto l'atto creativo può spingersi in relazione all'innovazione del calcestruzzo. Ricerche universitarie, partnership

¹⁷⁰ Cfr. Terri, Peter, Trust In design. Mixes concrete with fibreglass, cit., pp. 210-211.

con aziende produttrici, workshop e concorsi di idee sono le tante occasioni che arricchiscono l'interesse verso i calcestruzzi innovativi e la dimensione sperimentale del progetto dell'involucro discreto, aggiungendo esperienze, riflessioni alla pratica della produzione architettonica che si sta consolidando. E' il caso del **Liquid Wall Prototype**, proposta progettuale vincitrice dell'"Open Call for Innovative Curtain-Wall Design" indetto dall'AIA (American Institute of Architects) di New York nel 2010; l'architetto Peter Arbour mette insieme progettisti e specialisti del settore ed elabora un pannello in Ductal[®]. Il calcestruzzo fibrorinforzato superfluido e duttile consente di realizzare elementi di facciata dall'incredibile libertà formale; gli esili profili ondulati si realizzano attraverso l'impiego di matrici in materiale plastico, il pannello, poi, viene assemblato a sandwich e all'interno si dispone un sistema per la raccolta passiva dell'energia solare.¹⁷¹

L'insieme delle esperienze progettuali, delle sperimentazioni condotte negli ultimi dieci anni, che coinvolgono aziende come la Lafarge, centri di ricerca universitari come l'Ecole Ponts et Chaussées, fino a interessare settori del design, chiarisce come la previsione di poter arricchire i modelli progettuali proposti sia valida già da ora; il processo di sperimentazione e di definizione dell'elemento prototipico di facciata è in continua estensione, prefigurando possibilità di implementazione, di arricchimento, in ragione dell'avanzamento della ricerca scientifica, dei progressi verso nuovi progressi nelle miscele cementizie, nelle procedure di realizzazione delle casseforme e dei sistemi di ancoraggio.

¹⁷¹ Cfr. AA.VV, *The Liquid Wall: Revolutionary Curtain Wall System debuts at the New York Center for Architecture*, in "Ductal[®] Solution", giugno 2011, p. 9.

MAPPA CRITICA / VARIABILI PROGETTUALI TECNOLOGICHE

*Variabili tecnologiche

MISCELA

CASSAFORMA

ASSEMBLAGGIO

calcestruzzo fluido o con fibre di vetro

in legno o metalliche con inserti

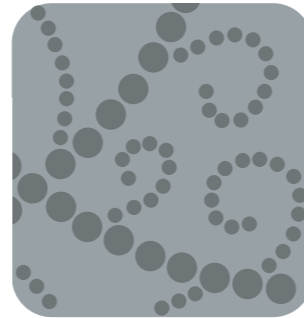
con supporti o a incastro

*Variabili progettuali

COMPOSTO

pannello arricchito dall'innesto di un altro materiale opaco o trasparente, eterogeneo dal calcestruzzo, che rivela un disegno sulla superficie dell'involucro

l'involucro si impregna di colori, di trasparenze, di nuove mineralità



MISCELA

CASSAFORMA

ASSEMBLAGGIO

calcestruzzo con fibre organiche

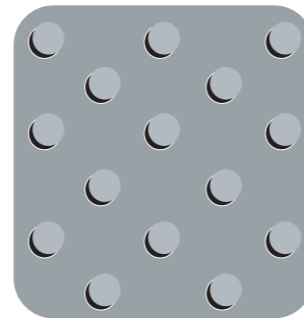
in legno trattate con resine

connessioni tra i pannelli

TRAMA

pannello con impresso un motivo, una texture riportata a rilievo che restituisce singolarmente o nella sua composizione una particolare disegno

l'involucro sembra come tessuto, rivelando una particolare tridimensionalità



MISCELA

CASSAFORMA

ASSEMBLAGGIO

calcestruzzo con fibre organiche

materiale plastico

struttura di supporto esterna

TRINA

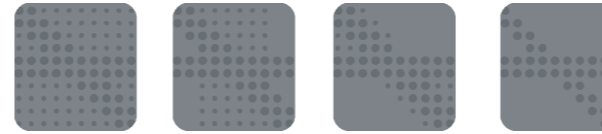
pannelli traforati

la superficie dell'involucro perde massa, si assottiglia e si svuota come una trina che non isola l'interno dell'edificio dall'esterno, ma innesta una comunicazione tra le due spazialità



*Parametro DENSITÀ

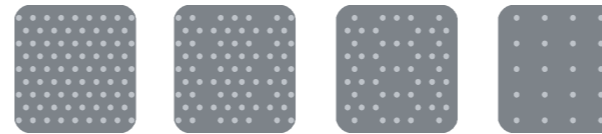
REGOLARE



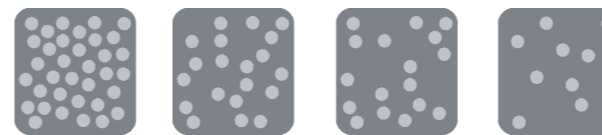
IRREGOLARE



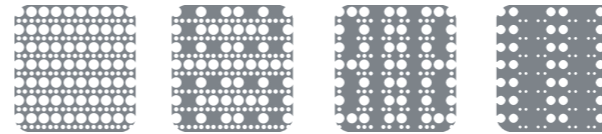
REGOLARE



IRREGOLARE



REGOLARE



IRREGOLARE



Centro Sportivo
Vora Arquitectura, Barcellona



Louis Vuitton Store
Aoki, Tokyo



Lotte Kindergarten
KAVAKAVA, Tartu



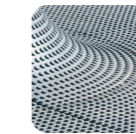
Performing Arts Center
Ito, Tokyo



EDF Archives Centre
LAN, Bure-Saudron



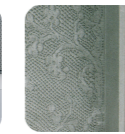
Apartments
Ito, Fukuoka



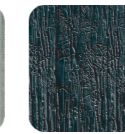
Bus Center RATP
ECDM, Thiais



Sport College
Arets, Utrecht



Contemporary
Caruso St John, Nottingham



University Library
Arets, Utrecht



Citadel
Portzamparc, Almere



Atelier Bardil
Ogioti, Scharans



Le Grands Moulins
Ricciotti, Paris



Maison de quartier
Gibert, Sedan



Les Enfants du Paradis
Ricciotti, Chartres



Lam
Gautrand, Lille



MUCEM
Ricciotti, Marsiglia



ZAC Rive Gauche
Badia-Berger, Parigi



Crèche Philippeville
r2k, Grenoble

*Parametro DISPOSIZIONE

CONCLUSIONI

Lo studio analitico della produzione contemporanea fornisce l'occasione per descrivere il ricorrere di una modalità di sperimentazione nel progetto dell'involucro in calcestruzzo che, attraverso le tante miscele cementizie innovative presenti sul mercato, si apre, alle soglie del III millennio, verso nuovi orizzonti espressivi, in cui la miscela cementizia diventa componente di caratterizzazione formale per il progetto e l'intero processo progettuale stesso, conducendo a esiti linguistici originali e inediti.

Un'attenta analisi della produzione architettonica del XX e XXI secolo, attraverso una ricognizione introduttiva, individua nell'espressione formale degli elementi strutturali, nella plasticità e organicità di forme complesse, nella traccia rudimentale rilasciata dal processo costruttivo sulla superficie e nelle nuove attitudini dei brevetti di ultima generazione, categorie formali e modalità attraverso le quali l'impiego innovativo e sperimentale del calcestruzzo si manifesta, periodicamente, come fattore di qualificazione estetica dell'involucro, in un arco temporale che va dalle prime sperimentazioni storiche fino alle applicazioni contemporanee. La rassegna critico-analitica proposta si traspone quindi graficamente in un quadro sinottico riassuntivo, che offre una comparazione delle diverse categorie formali individuate introducendo anche il dato cronologico.

La lettura critica di progetti di riferimento scelti nel panorama architettonico attuale, conferma nuovamente, nella ricerca architettonica, l'involucro come occasione privilegiata d'indagine e sperimentazione espressiva, mettendo a fuoco il tema dei calcestruzzi di ultima generazione. Si osserva inoltre che all'innovazione indotta dalle miscele di ultima generazione corrisponde un impiego sempre maggiore delle varie tipologie di calcestruzzi, più di quanto non sia accaduto in passato. Si propone quindi una sintesi di carattere teorico-metodologico in cui sono messi a sistema la classe di appartenenza delle nuove miscele cementizie e l'esito espressivo atteso, fornendo nel contempo un'ipotesi di lettura comparativa degli involucri contemporanei realizzati in calcestruzzo, ed estrapolandone le nuove declinazioni linguistiche.

L'analisi delle esperienze progettuali contemporanee e dei casi studio approfonditi fino al dettaglio delle questioni operative relative alla fase di realizzazione, mette a fuoco il ruolo innovativo e sperimentale dei calcestruzzi di ultima generazione nel progetto dell'involucro individuando effettive corrispondenze tra il metodo di approccio progettuale e la scelta di una determinata miscela cementizia in vista di precisi esiti espressivi prefigurabili. Questo assunto trova maggiore forza e validità quando l'involucro è costituito dall'assemblaggio del pannello prefabbricato in calcestruzzo che, modulare e replicabile, assume carattere di elemento prototipico di facciata. Questa riflessione viene a essere verificata attraverso la formulazione di un'applicazione sperimentale, che si configura come protocollo di metodo applicabile in sede progettuale per la realizzazione di un pannello di facciata in calcestruzzo. Il protocollo di metodo è tradotto graficamente da uno schema matriciale, un sistema che intreccia le miscele di calcestruzzi innovativi e le soluzioni tecnologiche possibili all'esito espressivo atteso, fornendo inoltre un criterio di classificazione delle esperienze progettuali contemporanee.

APPARATI

A 1. GLOSSARIO

A

* **additivo**

prodotto aggiunto in piccole quantità ai componenti essenziali di un impasto (legante, aggregato e acqua) allo scopo di modificare o ottenere talune proprietà allo stato fresco e/o allo stato indurito.

* **armatura**

l'insieme degli elementi in acciaio - opportunamente sagomati e posizionati - che conglobati al calcestruzzo ne completano la resistenza strutturale, con particolare riferimento all'assorbimento degli sforzi di trazione e taglio.

* **autoportante**

elemento costruttivo con funzione strutturale in grado di autosostenersi durante la posa in opera di una costruzione evitando il ricorso ad armature. In relazione alla tecnica costruttiva utilizzata possono essere autoportanti elementi come solai, scale, cupole, ecc.

B

* **brevetto**

è un titolo giuridico in forza al quale al titolare viene conferito un diritto esclusivo temporaneo di sfruttamento dell'invenzione, cioè di una soluzione del tutto nuova e originale, in un territorio e per un periodo ben determinato, e consente di impedire ad altri di produrre, vendere o utilizzare la propria invenzione senza autorizzazione.

* **brutalismo**

o neobrutalismo (dal fr. *beton brut*, “calcestruzzo grezzo”; ingl. *brutalism*) corrente, nata in Inghilterra negli anni Cinquanta, mirante al

recupero della lezione razionalista attraverso l'uso delle capacità espressive dei materiali e degli impianti. Il brutalismo, le cui posizioni discusse a partire dal 1954 all'interno del Team X, ha segnato la fine del razionalismo. Gli architetti brutalisti proclamarono la necessità di mettere a nudo l'edificio nelle sue parti costruttive e nei suoi materiali in modo da svelarne apertamente l'essenza e il funzionamento, evitando gli inutili imbellettamenti delle finiture. Il primo esito di questa ricerca fu l'*Unité d'habitation* a Marsiglia, realizzata su progetto di Le Corbusier tra il 1948 e il 1954, in cui per la prima volta veniva esaltato il valore formale del calcestruzzo.

C

* **calcestruzzo**

dal latino *calcis structio* (struttura a base di calce), il calcestruzzo è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati (sabbia e ghiaia) e con l'aggiunta, secondo le necessità, di additivi e/o aggiunte minerali che influenzano le caratteristiche fisiche o chimiche del conglomerato sia fresco che indurito.

* **calcestruzzo ad alte prestazioni**

calcestruzzo con spiccate caratteristiche di resistenza (superiori ai 50MPa), di lavorabilità e durabilità.

* **calcestruzzo armato**

materiale costituito da calcestruzzo e barre di acciaio (armatura) annegate al suo interno ed opportunamente sagomate ed interconnesse fra di loro. Comunemente si impiega il termine cemento armato.

* **calcestruzzo armato precompresso**

nel calcestruzzo armato precompresso, abbreviato con l'acronimo c.a.p., la precompressione viene utilizzata per sopperire alla scarsa resistenza a

trazione del conglomerato cementizio. Nel linguaggio comune chiamato anche cemento armato precompresso.

* **calcestruzzo autocompattante**

conglomerato cementizio che possiede una elevatissima fluidità, allo stato fresco, e un'elevata resistenza alla segregazione, infatti si compatta, qualunque siano le forme dei casseri, le dimensioni dei getti e la densità delle armature metalliche, per effetto del solo peso proprio senza l'apporto di energia esterna (vibrazione meccanica). Grazie alle sue proprietà reologiche il calcestruzzo autocompattante riempie completamente i casseri eliminando i macrovuoti e l'aria in eccesso all'interno della matrice cementizia. Questo evita l'insorgere dei macrodifetti del calcestruzzo che sono la causa dell'abbattimento delle sue proprietà meccaniche e del suo grado di durabilità. Acronimo: SCC, Self Compacting Concrete.

* **calcestruzzo fibrorinforzato**

è un materiale composito, cioè dato dall'unione di più materiali, appartenente alla famiglia dei calcestruzzi ad alte prestazioni, costituito da calcestruzzo ordinario, o malta di cemento, (matrice) nel quale vengono aggiunti e distribuiti in maniera omogenea elementi fibrosi discontinui (rinforzo) per rinforzare la matrice cementizia.. Acronimo: FRC, Fiber Reinforced Concrete.

* **calcestruzzo fotocatalitico**

miscela a base di cemento fotocatalitico che conferisce al manufatto la capacità: di purificare l'aria ottenendo una concreta riduzione delle sostanze organiche e inorganiche causa dell'inquinamento atmosferico, di effettuare un'azione anti microbica e di esaltare, conservare le caratteristiche estetiche dei manufatti.

* **carbonatazione**

processo chimico, naturale o artificiale, per cui una sostanza, in presenza di anidride carbonica, dà luogo alla formazione di carbonati;

nel calcestruzzo armato la carbonatazione rappresenta una delle principali cause di degrado del materiale.

★

cassaforma

in edilizia, è normalmente associato alla realizzazione delle opere in calcestruzzo armato, e individua l'involucro, dentro cui viene effettuato il getto di calcestruzzo allo stato fluido e dove esso rimane fino alla fine del processo di presa e dopo che, iniziata la fase di indurimento, il getto abbia conseguito una resistenza meccanica (circa 5-10 MPa) tale da garantire l'assorbimento delle sollecitazioni a cui la struttura è sottoposta subito dopo il disarmo o scasseratura. A questo punto la cassaforma perde la sua funzione e può essere rimossa perché la struttura è ormai in grado di autoportarsi. Le casseforme possono essere realizzate con diversi materiali; le più utilizzate sono quelle realizzate con elementi in legno oppure con pannelli metallici ma con maggiore frequenza si utilizzano anche elementi a base di materie plastiche, polistirolo espanso o elementi in materiali fibrocompresi o compensati

★

cemento

(dal lat. Caementum, “rottame” der. Da caedere, “tagliare, spezzare”) materiale da costruzione pulverulento, della famiglia dei leganti idraulici, che, reagendo e combinandosi con l'acqua, fornisce un impasto capace di tenere insieme elementi solidi inerti. La sua scoperta avvenne a tra i secoli XVIII e XIX, ma si giunse alla diffusione nella seconda metà dell'Ottocento dopo una lunga fase di sperimentazione industriale che portò alla produzione di un legante idraulico resistente e duraturo, con caratteristiche straordinariamente simili a quelle di una pietra calcarea esistente nelle isole di Portland, in Gran Bretagna (di qui il nome di cemento Portland).

★

cemento Portland

è il tipo di cemento più utilizzato, ed è usato come legante nella preparazione del calcestruzzo. Il cemento Portland è il prodotto che si

ottiene dalla macinazione del clinker, con l'aggiunta di gesso nella quantità necessaria per regolarizzare il processo di idratazione. L'analisi microscopica eseguita su pezzi di cemento scorificato ha rilevato la presenza di quattro componenti principali e precisamente l'alite (silicato tricalcio), la belite (silicato bicalcico), la celite (alluminato tricalcico) e la brownmillerite (alluminato ferrito tetracalcico).

Fu inventato nel 1824 in Inghilterra dal muratore Joseph Aspdin e deve il nome alla somiglianza nell'aspetto con la roccia di Portland, un'isola nella contea di Dorset (Inghilterra).

* **claustra**

(dal latino claudere, “chiudere”). Tutto ciò che serve per chiudere e delimitare un ambiente: dalle serrature ai serramenti, dalle transenne, agli argini, agli sbarramenti.

* **clinker**

componente base per la produzione del cemento. Le materie prime per la produzione di clinker sono minerali contenenti: ossido di calcio (CaO), generalmente ricavato da calcare, ossido di silicio (SiO₂), ossido di alluminio (Al₂O₃), ossido di ferro (Fe₂O₃) e ossido di magnesio (MgO).

D

* **durabilità**

conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera. La durabilità di un materiale è la capacità di durare nel tempo resistendo alle azioni aggressive dell'ambiente in cui si trova. Mentre per durabilità di una struttura si intende l'attitudine di un'opera a sopportare attacchi di

agenti aggressivi di diversa natura mantenendo inalterate le caratteristiche meccaniche e funzionali.

F

* **faccia a vista**

espressione che indica una superficie priva di intonaco o di rivestimento, in modo che il materiale edilizio sia ben visibile e abbia anche funzione di finitura

* **facciata**

prospetto dell'edificio rivolto verso i lati esterni, in particolare quel prospetto principale nel quale è anche aperto l'ingresso. Con l'architettura razionalista, nei primi decenni del Novecento, la composizione degli edifici si svolse su più prospetti esterni non decisamente differenziati per importanza; tutte le superfici esterne, delimitanti l'edificio, divennero diversi di un unico oggetto plastico.

* **fibre**

esistono varie tipi di fibre che vengono utilizzate (da sole o in mix) in funzione del compito che devono assolvere; ognuna di queste garantisce determinate caratteristiche al calcestruzzo. Le fibre più utilizzate sono: in materiale polimerico a basso modulo elastico (polipropilene non strutturali, polietilene, poliestere, nylon) che non accrescono la resistenza a trazione del materiale però migliorano la tenacità e sono utili a contrastare il fenomeno fessurativo della matrice cementizia o ad alto modulo elastico (polipropilene strutturali, di carbonio, acriliche, aramidiche) che, rispetto alle precedenti, garantiscono anche un aumento della resistenza a trazione del calcestruzzo; in acciaio e in vetro.

*** fibre ottiche**

filamenti di materiali vetrosi o polimerici, realizzati in modo da poter condurre al loro interno la luce.

*** fotocatalisi**

è il fenomeno naturale, con molte affinità con la sintesi clorofilliana, per cui una sostanza, chiamata fotocatalizzatore, attraverso l'azione della luce naturale o artificiale, attiva un forte processo ossidativo che porta alla trasformazione di sostanze organiche e inorganiche nocive in composti assolutamente innocui. La fotocatalisi è quindi un acceleratore dei processi di ossidazione che già esistono in natura. Favorisce una più rapida decomposizione degli inquinanti evitandone l'accumulo. I fotocatalizzatori classici sono rappresentati da composti metallici quali TiO_2 , il più attivo e più utilizzato, ZnO , CeO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , CdS , ZnS ecc.

*** inerti (o aggregati)**

categoria di materiali minerali granulari particellari grezzi usati nelle costruzioni e possono essere naturali, artificiali o riciclati da materiali precedentemente usati nelle costruzioni. Nel caso dei conglomerati cementizi, questi non partecipano all'indurimento del cemento, ma svolgono un ruolo molto importante sulle caratteristiche fisico chimiche dei calcestruzzi, in funzione della loro qualità. Per la buona riuscita di un conglomerato è fondamentale, oltre che la qualità degli inerti, anche la composizione granulometrica.

*** involucro architettonico**

sistema di chiusura integrale dell'edificio, elemento architettonico che delimita e circoscrive perimetralmente l'organismo costruttivo e strutturale. La sua funzione è quella di mediare, separare e connettere

l'interno con l'esterno, ma è anche un elemento che delimita e identifica gli spazi esterni circostanti.

L

* **lavorabilità**

capacità di certi impasti di essere miscelati e omogeneizzati, di mantenere una sufficiente coesione per essere manipolati, trasportati e messi in opera con facilità.

* **legante**

materiale capace di assicurare legami stabili tra i diversi componenti altrimenti sciolti.

M

* **materiale nanostrutturato**

materiale le cui proprietà sono controllate alla nanoscala attraverso l'impiego di nanotecnologie, può contenere o meno nanomateriali al suo interno

* **metacaolino**

il metacaolino o caolino calcinato, è la versione moderna del cocciopesto. Si tratta di argilla caolinitica sottoposta a cottura a circa 600-700°C, poi macinata. Se usato nelle giuste proporzioni, è in grado di conferire alle malte di calce aerea: tempi di presa più rapidi, idraulicità e maggiori resistenze meccaniche. Il metacaolino non accelera i processi di carbonazione, ma reagisce con la calce formando silicati e alluniti di calce.

* **nanomateriali**

struttura molecolare in cui una delle tre dimensioni nello spazio è inferiore ai 100nm

* **nanoscala**

range dimensionale entro cui operano le nanotecnologie, convenzionalmente individuato tra 1e 100 nm.

* **nanotecnologia**

capacità di osservare, misurare e manipolare la materia su scala atomica e molecolare.

P

* **permeabilità**

proprietà di un materiale di lasciarsi attraversare da un liquido.

* **pigmento**

sostanza in polvere, naturale o artificiale, non solubile in acqua o in olio, che conferisce colore ad un altro materiale.

* **precompressione**

tecnica industriale consistente nel produrre artificialmente una tensione nella struttura dei materiali da costruzione, e in special modo nel calcestruzzo armato, allo scopo di migliorarne le caratteristiche di resistenza. La precompressione ha ampliato notevolmente le caratteristiche di resistenza del calcestruzzo armato, permettendo la costruzione di organismi più leggeri e di realizzare luci notevoli.

R

* **reologia**

scienza che studia le deformazioni della materia sotto l'azione di agenti esterni.

* **resilienza**

capacità di un materiale di assorbire energia quando è deformato in modo elastico.

S

* **segregazione**

si intende per segregazione del calcestruzzo la separazione dei diversi componenti del conglomerato cementizio (acqua, cemento e aggregati, ecc.) costituenti la miscela, causata dalle differenze dimensionali e di peso specifico delle varie particelle. La segregazione avviene più facilmente negli impasti fluidi.

* **superfici hyper**

superfici a doppia curvatura realizzata con la traslazione di una parabola lungo un percorso iperbolico.

* **superficie**

(lat. *superficies*, comp. di *super*, “sopra” e *facies*, “faccia”) entità geometrica fornita di due dimensioni (altezza e larghezza); comunemente nel linguaggio delle arti si adopera - come il suo sinonimo “epidermide” - per indicare la parte esterna di un qualsiasi oggetto.

A2. BIBLIOGRAFIA RAGIONATA

PARTE I_RICOGNIZIONI

AA.VV, *Atlante del Cemento*, collana “Grande Atlante di Architettura”, Utet, 1998.

AA.VV, *Detail: Costruire con il cemento*, n. 48, Editore DETAIL, 2008.

AA.VV, *Eero Saarinen. Shaping the future*, Yale University Press, 2006.

Una rassegna cronologica, una retrospettiva organica sul lavoro di uno dei più prolifici e controversi maestri dell’architettura del XX secolo. Il testo ricostruisce la vita e il lavoro di Saarinen, focalizzandosi non solo sugli edifici visti all’interno del loro contesto culturale, ma anche sul processo metodologico, che li ha resi possibili.

AA.VV, *Façades*, 010 Publishers, 2008.

AA.VV, *Louis Kahn 1963-1969*, numero monografico di "L'Architecture d'Aujourd'hui", Feb.-Mar. 1969.

AA.VV, *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, Roma, Edizioni Kappa, 2007.

Questo numero della rivista romana presenta la messa a punto delle indagini svolte da un gruppo di ricercatori in merito alla storia dell’ingegneria strutturale italiana contemporanea. L’analisi delle opere e strutture proposte scende in profondità e coglie l’evoluzione del pensiero costruttivo che le ha prodotte.

Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Leggerezza*, Roma, Gangemi Editore, 2006.

Nuova collana editoriale ideata e promossa da Altec dedicata alle potenzialità formali ed espressive del cemento armato nell’architettura di ieri e di oggi. Questo primo numero, dedicato al tema della “Leggerezza”, parte da un paradosso: affrancare dal proprio peso il materiale che più ha interpretato il senso del grave - come supporto, sostegno, struttura, volume - per rappresentarlo attraverso le sue figurazioni più lievi: vele e gusci, linee-pieghe-origami, trame e tende sono alcune degli esiti formali che, come fogli di carta piegati o sospesi, inverano quelle figure della leggerezza sempre più frequentemente rappresentate dall’architettura contemporanea.

Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Plasticità*, Roma, Gangemi Editore, 2008.

Dopo il volume “Leggerezza” il progetto editoriale propone il volume "Plasticità". La plasticità è la speciale attitudine che il cemento ha nell'essere adattabile, adattato e idoneo alla sperimentazione formale a cui si sono attribuite particolari definizioni come Zoomorfo, Plastico, Fitomorfo, declinazioni che racchiudono le proprietà di materico e scultoreo avvicinandolo alle figurazioni artistiche dei Maestri.

Banham, Reyner, *The New Brutalism: ethic or aesthetic*, London, Architectural Press, 1966.

Bennett, David, *Innovations in concrete*, Thomas Telford, 2002.

Il libro descrive una serie di casi studio mettendo a fuoco l'esito di alcune ricerche originali per mostrare i progressi e le innovazioni indotta dal calcestruzzo negli ultimi due decenni.

Benvenuto, Edoardo, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, 1981.

Il testo propone un disegno storico delle scienze che studiano i principi teorico-fondativi dell'arte del costruire e ne orientano le innovazioni tecniche.

Billington, David e Moreyra Garlock, Maria E., *Félix Candela. Engineer, Builder, Structural Artist*, New Haven London, Yale University Press, 2008.

Dopo un'introduzione storica in cui si richiamano importanti personalità come Nervi, Torroja, Isler, si analizzano, nel dettaglio, le eleganti forme matematiche dell'ingegnere strutturale.

Billington, David, *Thin shell concrete structures*, McGraw-Hill, 1965.

Boesiger, Willy, *Oeuvre complète 1946-1952. Le Corbusier et son atelier de Sèvres 35.*, Zurich, vol. V, 1953.

Chilton, John C., *Heinz Isler. Engineer's contribution to contemporary architecture*, Thomas Telford, 2000.

Collepari, Mario, *Il Nuovo Calcestruzzo*, V Edizione, Ed. Tintoretto, 2009.

Collins, Peter, *Concrete. The Vision of a New Architecture. A Study of Auguste Perret and his Precursors*, London, Faber&Faber, Horizon Press, 1959.

Collins fornisce una storia completa del nuovo materiale a partire dal XIX secolo e passa ad esaminare le teorie sulla sua espressione architettonica, concentrandosi sul ruolo determinante del telaio in cemento armato e sulla figura di Auguste Perret.

Coradeschi, Sergio, *Il paraboloido iperbolico a volta sottile*, DI BAIO EDITORE, 1987.

Croft, Catherine, *Materiali in architettura: calcestruzzo*, Modena, Logos, 2005.

Il testo si apre con un'affascinante introduzione che ripercorre la storia del calcestruzzo, introducendone i primi utilizzi e presentandone i pionieri. L'autrice, illustra gli atteggiamenti del passato nei confronti del materiale e, attraverso i temi casa, lavoro, gioco e paesaggio, presenta progetti architettonici recenti.

De Fusco, Renato, *Storia dell'architettura contemporanea*, Laterza Editore, Roma-Bari, 1982.

Delsante, Ioanni, *Innovazione tecnologica e architettura*, Maggioli Editore, 2008.

A partire dalle basi culturali ed etimologico-lessicali dei concetti di "tecnica" e "tecnologia", nonché di "innovazione tecnologica", il testo volge l'attenzione all'architettura, rintracciando declinazioni e atteggiamenti contemporanei, con particolare riferimento ai temi del linguaggio e della composizione.

Ferrero, Marco, *Architettura e tecnica delle murature in blocchi di calcestruzzo*, Roma, Aracne, 2003.

In questo testo il blocco di calcestruzzo riveste un ruolo centrale, introdotto da un quadro storico che rintraccia il prezioso contributo di Frank Lloyd Wright con la tecnica innovativa del Textile Block per affrontare, nelle parti seguenti, temi afferenti i criteri e i procedimenti costruttivi della muratura a blocchi di calcestruzzo.

Frampton, Kenneth, *Tettonica e architettura. Poetica della forma architettonica nel XIX e XX secolo*, Skira, 2002.

Il volume tratta la storia della forma contemporanea come una poetica in evoluzione sia della struttura sia della costruzione e si basa su una serie di letture compiute da Frampton su fonti francesi, tedesche e inglesi dal XVIII secolo fino ai giorni nostri. L'autore chiarisce le svolte che hanno visto l'ingegneria strutturale e l'immaginazione tettonica nell'attività di Perret, Wright, Kahn, Scarpa e Mies, mostrando come la forma costruttiva e il carattere materiale siano parti integranti di un'espressione architettonica che subisce un'evoluzione all'interno delle loro opere.

Frampton, Kenneth, *The poetics of construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Cambridge, MIT Press, 1995.

Gabetti, Roberto, *Origini del calcestruzzo armato*, Torino, Edizioni Ruata, 1955.

Gaventa, Sarah, *Concrete Design*, Mitchell Beazley, 2006.

Il testo mette a fuoco la versatilità del calcestruzzo, oggi “material” di architettura e per il design.

Gulli, Riccardo, *Struttura e costruzione*, Volume 3 di Monografie. Scienze tecnologiche, Firenze University Press, 2008.

Idorn, Gunner, *Concrete progress: from antiquity to third millennium*, Thomas Telford, 1997.

Iori, Tullia e Poretti, Sergio, *Pier Luigi Nervi. L'Ambasciata d'Italia a Brasilia*, Electa, Milano 2008.

Iori, Tullia, *Il cemento armato in Italia*, EdilStampa, 2001.

Il testo svolge un'analisi delle connessioni tra la tecnica del calcestruzzo, in particolare rispetto alle opere di Pier Luigi Nervi, e lo sviluppo del Razionalismo Italiano a partire dalla formazione del Gruppo 7 (1926)

Iori, Tullia, *Pier Luigi Nervi*, (ed. italiana) Motta Architettura, Milano 2009.

Le Corbusier, *Oeuvre Complète 1946-52*, vol. 5, Birkhauser, Basilea, Boston e Berlino, 1953.

Leatherbarrow, David e Mostafavi, Mohsen, *Surface Architecture*, MIT Press, 2005.

Limbachiya, Mukesh C., *Excellence in concrete construction through innovation*, atti del convegno internazionale "Concrete Construction", Kingston University, London, UK., 9-10 September 2008, CRC Press, 2008.

Luigi, Gilbert, *Oscar Niemeyer: une esthétique de la fluidité, Monographies d'architectes*, Histoire de la France Aux Xixe Et Xxe Siecles, Editions Parenthèses, 1987.

MacDonald, Angus J., *Structure and architecture*, Architectural Press, 2001.

Mornati, Stefania, *Lo stabilimento balneare Kursaal di Lapadula e Nervi*, Mancosu Editore, 2007.

Nervi, Pier Luigi jr e Postano, Giuseppe, *Pier Luigi Nervi*, Serie di Architettura 5, a cura di Paolo Desideri, Zanichelli, 1979.

Nervi, Pier Luigi, *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Milano, Hoepli, 1955.

In un vivace appello "all'intuizione sensibile come motore di ogni progetto strutturista", Nervi denuncia l'invadenza di uno strutturismo matematico, l'incertezza dei verdetti emanati dai calcoli, sempre soggetti a errori; si rivolge agli architetti affinché cerchino di avvicinarsi maggiormente alla statica intesa come "studio e interpretazione delle leggi del mondo fisico e (...) specialmente si abituino a intuire il gioco delle forze e sollecitazioni che si sviluppano nelle varie parti di una struttura resistente".

Nordenson, Guy e Candela, Felix, *Seven structural engineers: the Felix Candela lectures*, The Museum of Modern Art, 2008.

Panayotis A., Michelis, *Estetica del cemento armato (1963)*, tr. it. Vitali e Ghianda, Genova, 1968.

Pizzetti, Giulio e Zorgno, Anna Maria, *Principi statici e forme strutturali*, Utet, 1980.

Si analizzano le “forme strutturali”, descritte per prestazioni non solo in senso statico ma anche spaziale e costruttivo, secondo due grandi categorie tipologiche: le figure resistenti per forma e le figure resistenti per massa.

Poretti, Sergio, *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma, 2008.

Nell'ambito dell'architettura italiana del Novecento le indagini raccolte in questo libro riguardano in particolare le pratiche del progetto e della costruzione. Nella sequenza degli episodi, strettamente attinenti alla storia della costruzione, affiora il ruolo del cemento armato, prima nascosto e poi svelato nella fase eroica dell'ingegneria italiana. Il testo, inoltre, mette a fuoco le sperimentazioni condotte da Nervi e il “Brutalismo raffinato” della Tomba Brion di Carlo Scarpa.

Potié, Philippe e Simonnet, Cyrille, *Culture constructive*, Editions Parenthèses, 1992.

Ricciotti, Rudy, *La Passerelle de la Paix. Séoul*, Jean-Michel Place éditions, 2001.

Rossetti, Vito Alunno, *Il Calcestruzzo, materiali e tecnologia*, McGraw-Hill, 2007.

Sicignano, Enrico, *Architetture in cemento armato*, Clean Edizioni, Napoli, 2007.

Simonnet, Cyrille, *Béton (Le): histoire d'un matériau*, Parenthèses, 2005.

Sinopoli, Nicola. e Tatano, Valeria, *Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura*, Milano, FrancoAngeli, 2002.

Il libro tratta del rapporto tra innovazione e costruzioni: un rapporto difficile e contrastato, stretto tra domanda e mercato, pressioni degli altri settori produttivi e assenza sostanziale di una ricerca autonoma, condizionamenti che derivano dalla storia, dalle tradizioni e dall'evoluzione tecnica.

Slessor, Catherine, *Concrete Regionalism*, Londra, Thames and Hudson, 2000.

Styliane, Philippou, *Oscar Niemeyer. Curves of irreverence*, New Haven London, Yale University Press, 2008.

Torroja, Eduardo, *La concezione strutturale*, Milano, Città Studi, 1995.

Il libro di Torroja è un contributo decisivo verso l'impostazione di una moderna strutturale, nell'ambito della quale l'interpretazione intuitiva del comportamento statico delle strutture dovrebbe costruire la fonte di ispirazione dell'attività progettuale.

Weston, Richard, *Materials, form and architecture*, Yale University Press, 2003.

Questo testo, riccamente illustrato, mette a fuoco l'importanza dei materiali in architettura, concentrandosi in particolare sulla produzione architettonica contemporanea.

PARTE II_TEMI PROGETTUALI

AA.VV, *AMC: Béton. Architecture in Concrete*, Editions LeMoniteur, 2010.

AA.VV, *Architectures du béton. Nouvelles vague, nouvelles recherches*, a cura di Jean-Louis Cohen e G. Martin Moeller Jr, Editions LeMoniteur, 2006.

Questo libro raccoglie testi di architetti, ingegneri e accademici sul tema del calcestruzzo in architettura. Attraverso una trattazione per temi -“Structures”, “Surfaces”, “Sculptures” e “Béton du futur”- si raccontano più di trenta progetti contemporanei che illustrano come l’architettura si sia aperta oggi ai calcestruzzi di ultima generazione.

AA.VV, *Area*, n. 115, Milano, Motta Architetture, 2011.

AA.VV, *Atlante del cemento*, collana Grande Atlante di Architettura, UTET, 1998.

Questo testo illustra le diverse possibilità d’impiego del calcestruzzo per contribuire a evitare errori nella fase di progettazione e di realizzazione delle costruzioni. Gli esempi architettonici e costruttivi intendono fornire idee per la progettazione e per l’impiego appropriato del calcestruzzo.

AA.VV, *AV proyectos*, n. 31, Madrid, Arquitectura Viva SL, 2009.

AA.VV, *Detail: Costruire con il cemento*, n. 48, Editore DETAIL, 2008.

AA.VV, *L’Expo di Shanghai 2010. Il Padiglione Italiano*, a cura di Davide Rampello, Electa, 2011.

AA.VV, *Materia*, n. 66, Federico Motta Editore, 2010.

AA.VV, *Modulo*, n. 365, Milano, Be-Ma Editrice, 2010.

AA.VV, *Tectonica. Hormigòn (III)*, n. 25, Madrid, Editione ATC, 2007.

AA.VV, *Toyo Ito 2001-2005*, in "El croquis", n. 123, 2005.

Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Leggerezza*, Roma, Gangemi Editore, 2006.

Andriani, Carmen, *Le forme del cemento: Plasticità*, Roma, Gangemi Editore, 2008.

Ardenne, Paul, *CODEX. Rudy Ricciotti*, Boston-Berlin, Birkhauser Basel, 2004.

D'Amato, Gabriella, *Architettura: una storia a ritroso. Dal Decostruttivismo al Classicismo*, Milano-Torino, Bruno Mondadori, 2010.

Questo libro racconta una storia dell'architettura inconsueta, costruita secondo una cronologia a ritroso: si parte da un evento di oggi per arrivare, attraverso il flash back e il collegamento libero, a suggerire un rapporto con il passato. I cinque percorsi tematici, che toccano argomenti apparentemente eterogenei quali arte e tecnica., gli "inganni" delle superfici trasparenti, le metamorfosi della facciata, le memorie di lunga durata del Novecento e le atmosfere dei luoghi., grazie alla presenza di protagonisti e temi trasversali, finiscono sorprendentemente col formare un lungo racconto unitario.

Coppola, Luigi, *Concretum*, The McGraw Hill Companies, 2007.

La Creta, Rosalba e Alini, Luigi, *Innovazione tecnologica e innovazione formale nell'architettura: l'evoluzione delle costruzioni in calcestruzzo armato*, atti del Secondo Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 7-8-9 aprile 2008, pp. 319-330.

Lanzarini, Orietta e Muffato, Alberto, *Teatri e luoghi per lo spettacolo*, Milano Electa architettura, 2008.

Le Gac, Christophe, *Manuelle Gautrand architecture*, Neo Architects series, Mulgrave, The Images Publishing Group, 2005.

Lucente, Roberta e Trasi, Nicoletta, *Da Sud a Sud/Du Sud au Sud, Workshop internazionale di progettazione con Rudy Ricciotti*, Roma, Palombi Editore, 2009.

Manzini, Ezio, *La materia dell'invenzione*, Milano, Arcadia Edizioni, 1986.

Preljocaj, Angelin e Ricciotti, Rudy, *Papillon Noir*, Ed. Xavier Barral, 2006.

Ricciotti, Rudy, *La Passerelle de la Paix. Séoul*, Jean-Michel Place éditions, 2001.

Sicignano, Enrico, *Architetture in cemento armato*, Napoli, Clean Edizioni, 2007.

Sinopoli, Nicola. e Tatano, Valeria, *Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura*, Milano, FrancoAngeli, 2002.

Toyo Ito, *Tre trasparenze*, Tokyo, Nuno Nuno Books, 1997.

PARTE III_SPERIMENTAZIONI

AA.VV, *AMC: Béton. Architecture in Concrete*, Editions LeMoniteur, 2010.

AA.VV, *AMC: Texture*, Editions LeMoniteur, 2010.

AA.VV, *Architectures du béton. Nouvelles vague, nouvelles recherches*, a cura di Jean-Louis Cohen e G. Martin Moeller Jr, Editions LeMoniteur, 2006.

AA.VV, *Musée d'art moderne, Villeneuve d'Asq Manuelle Gautrand*, in "AMC", n. 202, Editions LeMoniteur, gennaio 2011, p. 88.

AA.VV, *RATP Bus Center in Thiais*, in "Materia", n. 58, luglio 2008.

AA.VV, *Toyo Ito 2001-2005*, in "El croquis", n. 123, 2005.

AA.VV, *Toyo Ito. Le opere, i progetti, gli scritti*, a cura di Andrea Maffei, Electa, 2001.

Ardenne, Paul, *CODEX. Rudy Ricciotti*, Boston-Berlin, Birkhauser Basel, 2004.

Lanzarini, Orietta e Muffato, Alberto, *Teatri e luoghi per lo spettacolo*, Milano, Electa architetture, 2008.

Lucente, Roberta e Trasi, Nicoletta, *Da Sud a Sud/Du Sud au Sud, Workshop internazionale di progettazione con Rudy Ricciotti*, Roma, Palombi Editore, 2009.

Nakayama, Hideyuki e Ito, Toyo, *Matsumoto Performing Arts Center*, in "GA Theatre", numero speciale a cura di Yukio Futagawa, n. 4, 2006, p. 310.

Suzuki, Akira, *Memorie di galleggiamenti embrionali*, in “Domus”, n. 874, ottobre 2004, p. 22.

Terri, Peter, *Trust In design. Mixes concrete with fibreglass*, in “Mark”, n. 22, 2010, pp. 210-211.

A3. SCHEDE MATERIALI CEMENTIZI INNOVATIVI

DUCTAL®

"Ductal is bound to shatter a part of architects' beliefs; the whole gamut of modernist certitudes are suddenly going to be shaken. The style of artistic structures is bound to change"

Rudy Ricciotti

Il Ductal® appartiene alla famiglia dei Calcestruzzi a Polvere Reattiva (Reactive Powder Concrete, RPC) e presenta spiccate caratteristiche di duttilità, resistenza e durabilità. Nasce dall'intensa attività di R&S (Ricerca e Sviluppo) condotta nel corso degli anni '90 da tre grandi aziende: LaFarge specializzata nel campo dei materiali da costruzione, Bouygues uno dei più grandi costruttori a livello europeo e mondiale, e Rhodia specializzata nel settore chimico. Negli anni 1997-2000, LaFarge, Bouygues e Rhodia brevettano una serie di innovazioni e soluzioni nel campo degli UHPC, tutte con il marchio registrato "Ductal®". A partire dal 2000, il prodotto viene commercializzato e impiegato nella progettazione di numerose applicazioni sia in campo architettonico che strutturale (facciate, passerelle pedonali, coperture, ecc.). Parallelamente alla commercializzazione, prosegue un'intensa attività di ricerca che a oggi vede coinvolte più di 15 università e 6 laboratori di ricerca. I principi che hanno guidato lo sviluppo del Ductal® si possono riassumere nei seguenti punti:

- Miglioramento dell'omogeneità della miscela, riducendo nettamente il diametro massimo della grana rispetto ad un calcestruzzo convenzionale;
- Riduzione drastica dei danni microstrutturali (pori e microfessure) selezionando e regolando le componenti della miscela tra di loro (omogeneizzazione);
- Incremento della densità microstrutturale (riduzione della porosità) riempiendo i vuoti interstiziali tra i granuli di cemento; questo comporta in generale un aumento della resistenza meccanica a compressione ma scarse resistenze a tensione;

- Miglioramento della microstruttura impiegando fumo di silice combinato con silice di precipitazione altamente reattiva e con trattamenti di caldo post-indurimento;
- Aumento della duttilità e della resistenza a tensione (riduzione della fragilità) mediante l'inserimento di microfibre; le fibre riescono – in modo tecnologicamente "facile" ed economico – ad aumentare la tenacità del materiale (macrofibre metalliche), a regolarizzarne il processo fessurativo (microfibre metalliche e inorganiche), e a diminuirne la sensibilità all'alta temperatura (fibre polimeriche), alla fatica ed ai carichi impulsivi (fibre metalliche);
- Attinenza alla tecnologia di miscelazione e di betonaggio nota nel campo del calcestruzzo normale ed altamente resistente.

Caratteristiche del Ductal[®]

Il maggior pregio del Ductal[®] è quello di combinare in un unico materiale una serie di caratteristiche uniche ed innovative:

- Altissima resistenza meccanica a compressione (200 N/mm^2) e flessione (40 N/mm^2), senza l'uso di armature metalliche, che permette di sopportare notevoli carichi dinamici e sollecitazioni;
- Garanzie di durabilità decisamente più elevate di quelle offerte da un calcestruzzo anche di elevata resistenza meccanica sia nel tempo che in condizioni ambientali difficili o addirittura estreme (alta/bassa temperatura, ambiente corrosivo, resistenza al fuoco, ambiente sotto marino, ecc.);
- Elevata duttilità e modellabilità, che consente al progettista di utilizzare forme e geometrie innovative ed esteticamente accattivanti. In sostanza, il Ductal[®] rappresenta una sintesi perfetta tra performance tecnologica ed estetica.

L'impiego del Ductal[®] consente di conseguire notevoli vantaggi anche dal punto di vista statico: grazie all'elevata resistenza a compressione e flessione e alla totale assenza di armature metalliche, è possibile creare strutture più leggere (volumi e pesi inferiori) fino addirittura al 70% rispetto a quello richiesto per le stesse realizzazioni in calcestruzzo ad alta resistenza. Stante la notevole diminuzione del volume delle strutture, si è potuto conseguire un

considerevole risparmio nel consumo di cemento (circa il 35% in meno), e di aggregati (il 65% circa in meno), rispetto ai quantitativi richiesti per la struttura realizzata in calcestruzzo ad alta resistenza. In sostanza, l'impiego del Ductal® sembra rappresentare un'interessante soluzione ai problemi di carattere ambientale, grazie alla diminuzione del consumo di cemento (e conseguentemente alla diminuzione di anidride carbonica emessa nell'atmosfera) e di aggregati.

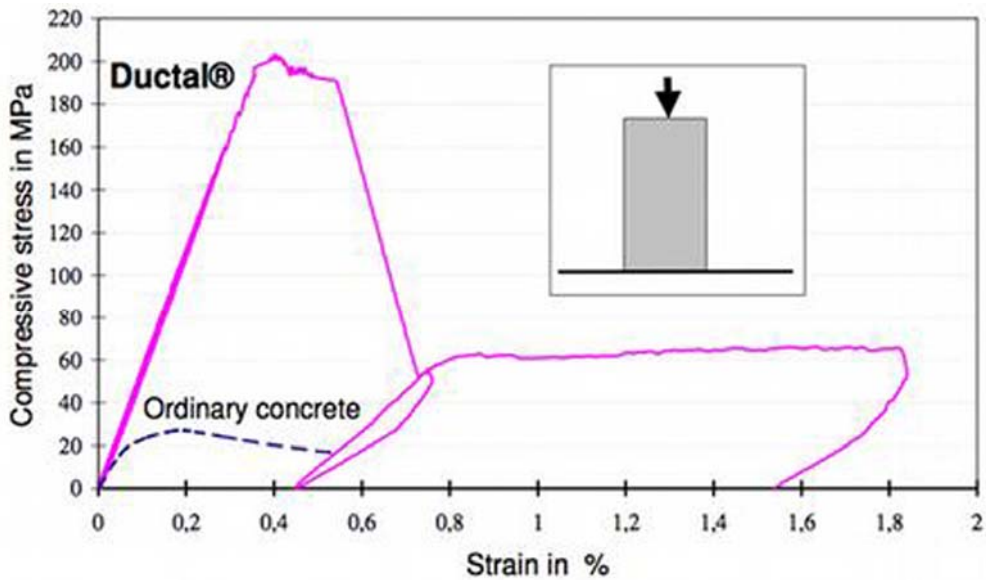
La produzione del Ductal® avviene in normali stabilimenti di produzione di manufatti prefabbricati. Sia il mescolamento dell'impasto che il getto all'interno degli stampi viene realizzato con un normale impianto di betonaggio e con i sistemi classici di posa in opera e compattazione del calcestruzzo ordinario. Il costo di questo calcestruzzo speciale è molto più elevato rispetto a quello di un normale conglomerato cementizio. Tuttavia, occorre sottolineare come tale costo sia compensato dalla maggiore durabilità e facilità di messa in opera.¹⁷² A seconda del tipo di fibre utilizzate, si distinguono tre tipi di Ductal®:

- Ductal®-FM che contiene fibre metalliche ed è adatto per applicazioni strutturali e strutture portanti;
- Ductal®-FO che contiene fibre organiche ed è adatto per applicazioni architettoniche;
- Ductal®-AF, variante del Ductal®-FM, resistente al fuoco (Anti-Fire) e comprende un mix di fibre metalliche e organiche.

Il Ductal® inoltre viene sottoposta a un trattamento termico, a temperature tra 60°C e 90°C per un periodo compreso tra 48 e 72 ore, soprattutto quando la miscela cementizia è impiegata a fini strutturali. Questo trattamento determina un miglioramento delle proprietà meccaniche (di circa il 15%) e della durabilità e inoltre conferisce una maggiore stabilità dimensionale (riduzione delle deformazioni).

Le Proprietà che caratterizzano il Ductal® sono:

¹⁷² Cfr. Acker, Paul, e Behloul, Mouloud, *Ductal® Technology: a large spectrum of properties, a wide range of application*, FIB Symposium Avignon, France, Aprile 2004.

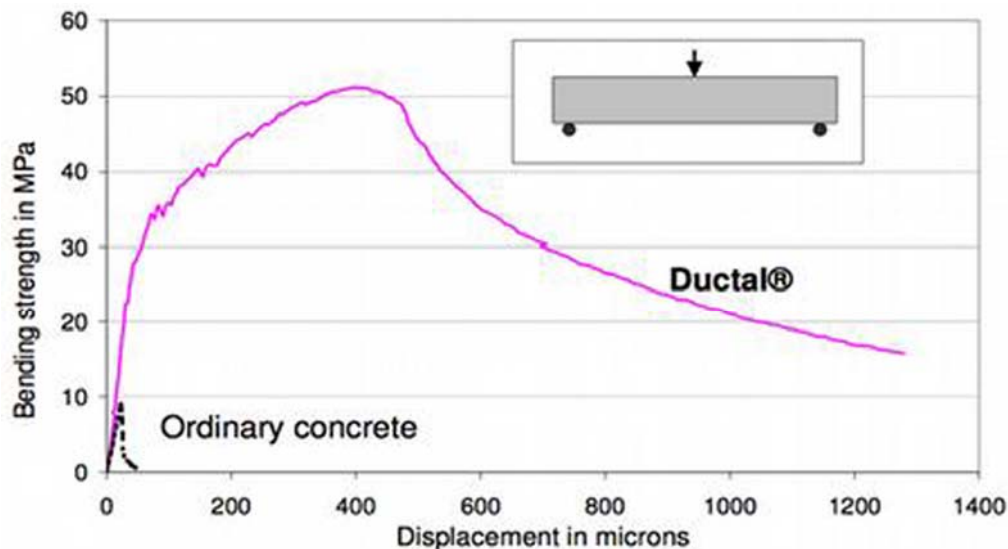


87. Diagramma tensione/deformazione per un campione di Ductal®-FO

- Compressione: il Ductal® presenta una eccezionale resistenza a compressione, con resistenze da 4 a 8 volte maggiore dei calcestruzzi convenzionali (figura 17). Il comportamento è quasi lineare fino alla massima sollecitazione e non c'è alcun danno al materiale durante questa fase;

- Flessione: il Ductal®-FM contiene il 2% di fibre metalliche, equivalenti a 50 milioni di fibre per metro cubo, che conferiscono al materiale la caratteristica duttilità mostrata nel seguente diagramma;

- Ritiro e deformazione: probabilmente le caratteristiche più notevoli del Ductal®. Per un calcestruzzo tradizionale, il coefficiente di deformazione può arrivare fino ad un valore di 3-4, mentre per il Ductal® vale meno di 0,8 (0,2 quando viene applicato il trattamento termico). Per i calcoli si può assumere un valore di 0,3. Poiché il rapporto acqua/cemento è molto basso, il Ductal® non



88. Diagramma forza/spostamento per un campione di Ductal®-FO

presenta significativa perdite di peso dovute a ritiro igrometrico. In funzione del tempo si osserva un progressivo ritiro idrometrico fino a 500 Microstrain ($\mu\text{m/m}$). Il ritiro igrometro dopo trattamento termico è nullo;

- Comportamento alle alte temperature e resistenza al fuoco: il Ductal® è un materiale non infiammabile; in particolare, esiste una variante specifica Ductal®-AF che presenta particolari proprietà di non-infiammabilità. I test di resistenza al fuoco (ISO 834) sono stati condotti su campioni di Ductal-AF presso il CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) in Francia e il VTT-Technical Research Centre in Finlandia. I risultati delle prove mostrano la quasi totale assenza di danni derivanti dal fuoco;¹⁷³

- Resistenza alla corrosione: sulla durabilità dei calcestruzzi rinforzati, e in particolare quelli con fibre d'acciaio, sono state fatte affermazioni tendenti ad

¹⁷³ Cfr. Casanova, Pascal, *Fire Resistance of Ductal® Ultra High Performance Concrete*, France, Report Lafarge SA, 2008.

accreditare l'idea di una carenza grave di queste, a causa della corrosione alla quale esse sarebbero esposte, quando incorporate nel calcestruzzo. In realtà, *“Le fibre d'acciaio non sono attaccabili dall'ambiente alcalino della matrice cementizia. Per quanto riguarda la possibilità di corrosione dovuta alla penetrazione di agenti aggressivi nel calcestruzzo, prove di esposizione agli agenti atmosferici e prove accelerate hanno dimostrato che soltanto le fibre che affiorano superficialmente vengono attaccate, mentre le fibre completamente immerse nel calcestruzzo non presentano, anche in presenza di cloruri o di solfati, tracce di corrosione essendo passivate e protette dalla soluzione alcalina che riempie i pori della pasta di cemento.”*¹⁷⁴

¹⁷⁴ Chanvillard, Gilles, *Retention of the mechanical performances of Ductal® specimens kept in various aggressive environment*, Avignon, FIB Symposium, 2004.

TX MILLENNIUM®

“quelle vele bianche ci condurranno verso un mondo nuovo”

Richard Meier

I materiali autopulenti derivano la loro proprietà dal comportamento fotocatalitico che ne caratterizza la superficie. La capacità di aggredire gli inquinanti atmosferici è una innovazione che investe sia nuovi materiali che materiali ormai tradizionalmente impiegati in Architettura.

Il processo della fotocatalisi è basato sull'uso di catalizzatori (semiconduttori solidi) in grado di ossidare sostanze nocive e inquinanti fino alla loro completa mineralizzazione; applicato ai materiali di Architettura conferisce diverse proprietà interessanti ai fini di varie modalità di impiego:

- La purificazione dell'aria. Si ottiene infatti una concreta riduzione delle sostanze organiche e inorganiche causa dell'inquinamento atmosferico, soprattutto biossido di azoto, le polveri sottili (particelle PM10) e i composti organici volatili (VOC);
- Un'azione deodorante. Si decompongono gas tossici organici che sono fonte di malesseri domestici (tioli/mercaptani, aldeide formica e odori da crescita fungine);
- Un'azione antimicrobica. I batteri e i funghi che attaccano le superfici sono eliminati grazie al forte potere ossidante del fotocatalizzatore (Escherichia coli, Staphylococcus, ecc.). La fotocatalisi in realtà non uccide le cellule dei batteri, ma le decompone. Si è scoperto che l'effetto antibatterico della titania risulta essere più efficace di qualsiasi altro agente antimicrobico, perché la reazione fotocatalitica lavora anche quando ci sono cellule che coprono la superficie e quando i batteri si stanno attivamente propagando;
- Un'azione anti-nebbia, di auto pulizia dei materiali. una superficie rivestita con titanio mostra una totale mancanza di repellenza all'acqua. Con questa proprietà, ad esempio, uno specchio in un bagno non si annerirà con il vapore dell'acqua, per la super-idrofilicità del TiO_2 . L'acqua prende la forma

di uno strato sottile altamente uniforme, che impedisce l'annebbiamento. La maggior parte delle pareti esterne degli edifici viene sporcata dai gas di scarico dei veicoli e da microrganismi, la cui crescita è favorita dall'accumuli di grassi e polveri. Se queste superfici sono rivestite di materiale fotocatalitico, lo sporco sarà lavato via con la pioggia e saranno, così, preservate le caratteristiche estetiche dei manufatti.

In ambito edilizio uno dei primi materiali su cui si è sperimentato con successo il processo fotocatalitico è il cemento, che rappresenta un supporto ideale per la sua diffusione. Combinando il biossido di titanio con il cemento è stato possibile ottenere un legante che, oltre alle caratteristiche tradizionali di resistenza meccanica e durabilità associa proprietà fotocatalitiche, che lo rendono in grado di ossidare gli inquinanti organici e inorganici che si depositano sulla sua superficie. Le molecole del biossido di titanio, infatti, aderiscono alla superficie delle particelle a grana grossa del cemento e si insediano nelle intercapedini più basse del substrato.

Tx Millennium[®]

TX Millennium[®], è la miscela realizzata dal Gruppo Italcementi, che ha messo a punto il prodotto nei laboratori di ricerca del Centro Tecnico di Gruppo (CTG), uno dei centri di studio e ricerca sui materiali cementizi più importanti d'Europa. Si tratta di una scelta che ha una duplice valenza, tecnica ed ambientale. Sotto il profilo tecnico, infatti, l'impiego dei cementi TX Millennium[®] esalta e conserva nel tempo le caratteristiche estetiche originali dei calcestruzzi e la loro particolare brillantezza, grazie all'azione autopulente che attivano, favorendo la decomposizione degli organismi che sporcano le superfici e che sono contenuti nell'aria, nei grassi, nelle polveri e nelle piogge acide. A livello ambientale, poi, questi cementi contenenti leganti ad azione fotocatalitica, attraverso l'azione della luce e dell'aria, favoriscono l'accelerazione del processo di decomposizione per ossidazione degli inquinanti presenti nell'atmosfera, trasformandoli in composti non tossici. Un metodo, dunque, per contribuire a migliorare la qualità dell'ambiente.

Studi compiuti da oltre un decennio da parte dell'Italcementi hanno evidenziato come 1.000 mq di superficie fotocatalitica sia in grado di pulire un volume

d'aria di 200 mila metri cubi ogni 10 ore di irraggiamento. L'impiego di materiali da costruzione contenenti fotocatalizzatori costituisce dunque un modo concreto e attivo di combattere l'inquinamento causato da gas di scarico e da impianti di riscaldamento, impiegando un processo in grado di abbattere le sostanze nocive presenti nell'atmosfera, come ossidi di azoto, ossido di carbonio, polveri sottili. A ciò aggiungasi che i calcestruzzi confezionati con cementi TX Millennium®, conformi alla norme EN 197/1, mantengono inalterate le prestazioni fisico-meccaniche dei calcestruzzi tradizionali, offrendo in più una straordinaria brillantezza e la capacità di autopulirsi, conservando nel tempo la bellezza originale. Venendo a mancare infatti le molecole organiche, si riduce il fenomeno di aggrappo delle polveri alle superfici e se ne favorisce l'asportazione.

La gamma TX Millennium® prevede due linee di prodotto:

- TX Aria®: Cementi ad azione antismog per la protezione dell'ambiente;
- TX Arca®: Cementi ad azione antisporcamento per opere architettoniche di pregio.

TX Millennium® è stato utilizzato per la prima volta nel 1996 per la realizzazione dei conci prefabbricati che, una volta montati, hanno dato vita alle tre imponenti vele della chiesa Dives in Misericordia di Richard Meier a Roma.

I.LIGHT®

“Le stelle sono buchi nel cielo da cui filtra la luce dell’infinito”

Confucio

Nel 2001, un giovane architetto ungherese di 27 anni, Áron Losonczi ha messo a punto un materiale rivoluzionario: il calcestruzzo traslucido. Light Transmitting Concrete (LiTraCon®) sono blocchi di calcestruzzo con una percentuale di fibre ottiche di vetro o di plastica che va dal 3% al 4%. Il materiale diventa traslucido senza perdere le sue caratteristiche di resistenza. Il diametro delle fibre ottiche di vetro può variare dai 30 ai 100 micrometri mentre quelle di plastica dai 0,5 ai 2,5mm. L’effetto cambia a seconda del tipo di fibra, non solo per la trama che si viene a creare, ma anche perché quelle di plastica trasmettono meglio i colori. La produzione di questo materiale presenta delle difficoltà legate alle fibre ottiche che sono molto delicate. Attualmente si è in grado di produrne piccole quantità e di realizzare blocchi di 15 x 25cm con spessori a partire da 2cm. Questa invenzione ha visto le prime applicazioni architettoniche presso la mostra al National Building Museum di Washington e nella piazza nel centro di Stoccolma. La pavimentazione è stata interamente rifatta in Litracon® e quello che di giorno sembra normale cemento, di notte si trasforma in uno scenario opalescente.¹⁷⁵ Il LiTraCon® apre di fatto nuovi orizzonti per la ricerca e le sperimentazioni sul calcestruzzo. Centri di ricerca, aziende produttrici, lavorano oggi mossi da un obiettivo ben preciso: rendere un materiale da sempre opaco in grado di trasmettere la luce, di essere trasparente, pur mantenendo le sue caratteristiche di resistenza.

Ilight®. Il “cemento trasparente” di Italcementi

Italcementi Group, mette a punto un nuovo tipo di materiale cementizio che, legando particolari resine, consente di fabbricare pannelli che trasmettono la

¹⁷⁵ AA.VV, Áron Losonczi. *Transparent Concrete*, in “Domus”, n. 875, Editoriale Domus, novembre 2004, pp. 40-50.

luce: questo è il nuovo prodotto composito i.light®. Sviluppato per soddisfare gli specifici requisiti di progettazione architettonica delle pareti esterne del Padiglione italiano realizzato per il World Expo 2010 di Shanghai, i.light® garantisce la trasparenza grazie ad un innovativo mix design della matrice cementizia; l'eccellente fluidità dell'impasto permette di legare gli inserti in resina e di dar vita ad un pannello finale che coniuga la robustezza tipici dei materiali cementizi alla possibilità di trasmettere la luce sia verso l'interno sia verso l'esterno. Le resine, opportunamente inserite in questo particolare impasto, hanno delle prestazioni di trasparenza migliori delle fibre ottiche, sperimentalmente utilizzate finora in questo campo, ma soprattutto costano molto meno, consentendone l'applicazione su larga scala. I 3.774 pannelli, realizzati con 189t di "cemento trasparente", ricoprono una superficie complessiva di 1.887mq, circa il 40% del totale del Padiglione, creando una sequenza di luci e ombre in continua evoluzione nel corso della giornata. L'effetto trasparenza si coglie, dall'esterno, soprattutto nelle ore notturne, quando con il buio il "cemento trasparente" lascia filtrare le luci interne. Stando dentro il padiglione, invece, durante le ore del giorno si ha la chiara percezione delle variazioni di luminosità dell'ambiente esterno. Utilizzato per la prima volta a Shanghai, per il futuro il materiale si propone come componente architettonica con funzioni diversificate e fra loro integrabili, come ad esempio l'internal lightening (tecniche di ombreggiamento/diffusione della luce). La sfida della trasparenza conferma la dimensione innovativa e creativa del made in Italy e ha consentito a Italcementi di mettere a disposizione della presenza italiana a Shanghai il know how e la solida esperienza aziendale, come già era accaduto in passato per altre importanti realizzazioni architettoniche.

Caratteristiche fisico-meccaniche del pannello

- Dimensioni nominali: spessore: 50 mm; lunghezza: 1000 mm; larghezza 500 mm;
- Massa: 50 Kg;
- Trasparenza: ~18-20% (% rispetto alla superficie totale);

- Resistenza agli agenti atmosferici: nessuna deterioramento osservato dopo più di un anno di esposizione all'ambiente esterno (prove specifiche sono previste presso il Politecnico di Milano);
- Limite elastico: 1,92 MPa – Prova interna (controllo di spostamento).

Caratteristiche della matrice cementizia

- Cemento: 52.5 R Type I, impiegato per assicurare un rapido indurimento e resistenze elevate;
- Sabbia/ghiaia (di granulometria appropriata): Silico-calcaree per ottenere uno scheletro granulare compatto;
- Fibre di acciaio inossidabile per conferire un'elevata tenacità (duttilità);
- Fibre di polipropilene per ridurre il rischio di fessurazioni alle brevi scadenze;
- Mix adeguato di additivi per migliorare la reologia allo stato fresco e attenuare i fenomeni di deformazione lenta.

Proprietà meccaniche

- Resistenza a compressione: 65 MPa (EN 12390-3);
- Resistenza a flessione: 10 MPa (EN 12390-5);
- Modulo elastico: 39000 MPa (UNI 9771).

Caratteristiche degli inserti in resina

- Resistenza a trazione: 65 MPa (ISO 527-1/-2);
- Modulo elastico in trazione: 300 MPa (ISO 527-1/-2);
- Allungamento a rottura: 3% (ISO 527-1/-2);
- Fattore di trasmissione ottica: 92% (DIN 5036);
- Classificazione al fuoco: classe B2 (DIN 4102);
- Resistenza agli UV: buona;
- Resistenza chimica: buona ad acidi e alcali.

