



Calcestruzzo attivo per strutture snelle

Per la nuova chiesa di Trezzano, la struttura è stata realizzata totalmente in calcestruzzo fotocatalitico autocompattante bianco dal potere di conservare inalterato nel tempo l'aspetto estetico grazie alla proprietà dell'auto-pulizia della superficie, con prestazioni meccaniche e durevolezza di rilievo.



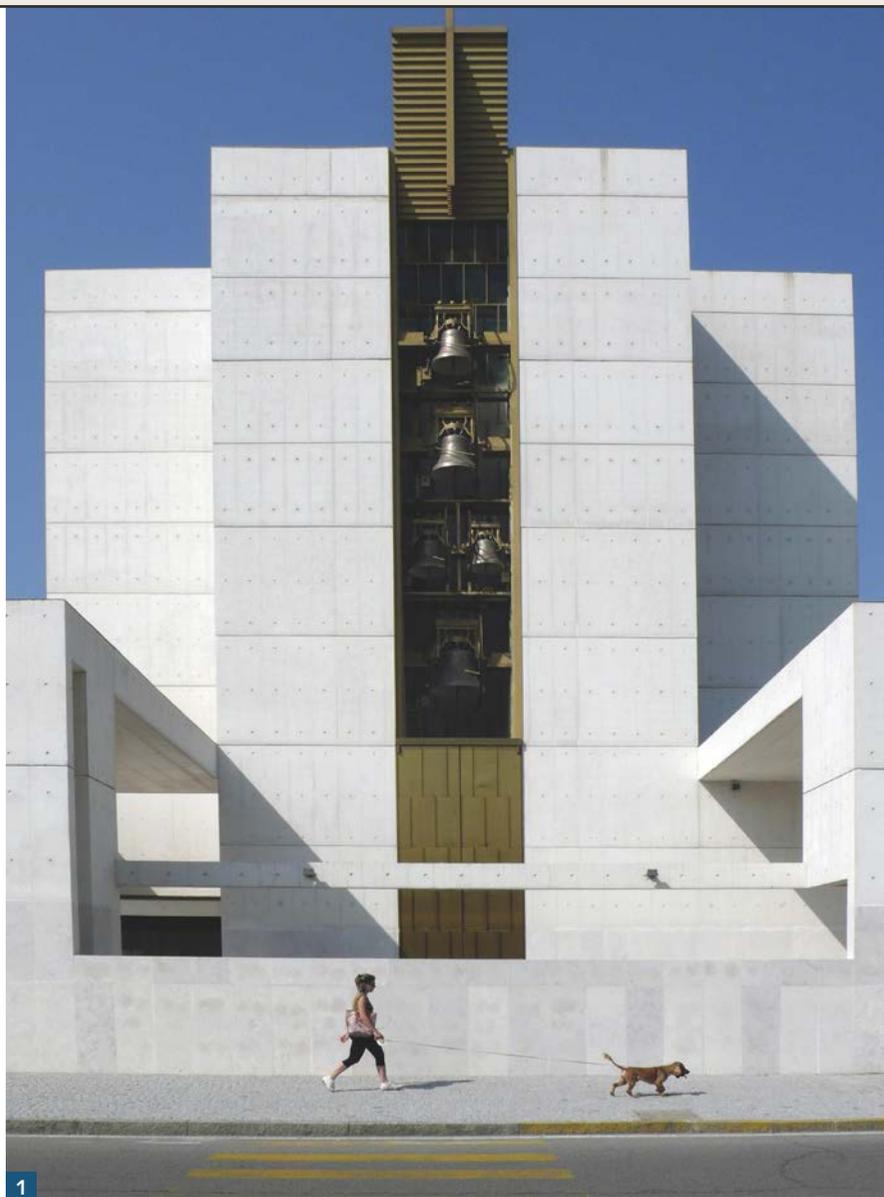
La nuova chiesa dedicata a **Santa Gianna Beretta Molla** nella parrocchia di **S. Ambrogio a Trezzano sul Naviglio** (Milano) è stata edificata dal gruppo **Meraviglia Spa** su progetto dello studio **Quattroassociati**. Il lotto si presenta stretto e a ridosso sia dell'edificato di quartiere che del Naviglio Grande che delimita l'asse viario prospiciente l'ingresso dei fedeli. Il complesso parrocchiale sostanzialmente si può suddividere in **due volumi**: il primo, alto 21 m, prevede la collocazione della chiesa vera e propria, la cappella feriale e i vani di pertinenza (sacrestia, servizi, locale tecnico...), nel secondo, disposto su due livelli, al piano terra vi sono gli uffici parrocchiali e gli spazi dedicati alla Caritas, mentre al primo piano sono stati collocate unità abitative destinate al clero residente o predisposte a uso foresteria.

TERRENO

Per la determinazione della portanza e della tipologia di terreno del lotto si è dapprima proceduto a una **campagna geognostica** attraverso l'esecuzione di 4 prove penetrometriche di tipo dinamico spinte sino alla profondità di 15 m, mentre per l'identificazione della categoria del suolo, ai fini del **calcolo sismico**, è stata eseguita un'indagine (**profilo Masw**) per misurare la velocità di propagazione delle onde di taglio. Sulla base delle indagini eseguite si è potuto stabilire che dalla quota 0,00 m a - 2,7 m l'orizzonte superficiale è costituito da sabbia limosa che presenta caratteristiche geotecniche modeste, da 2,7 m a 9,0 m l'orizzonte costituito prevalentemente da sabbia con limo e ghiaia che presenta caratteristiche da scarse a mediocri (Nscpt 4/6), da 9 m a 15 m presenza di sabbia ghiaiosa debolmente limosa con caratteristiche geotecniche da discrete a buone (Nscpt maggiore di 12). **La falda**, individuata mediante la messa in opera di un piezometro è stata misurata a - 2,8 m dal piano campagna. Per l'**indagine sismica** con la prova Masw si è ottenuta una velocità delle onde di taglio relativamente ai primi 30 m di sottosuolo pari a 348 m al secondo che consente di classificare l'area della costruzione nella categoria di suolo «C».

FONDAZIONI

Le caratteristiche geotecniche del terreno sino alla quota di circa 9 m hanno dettato l'impossibilità di realizzare delle fondazioni superficiali che avrebbero portato a cedimenti differenziali



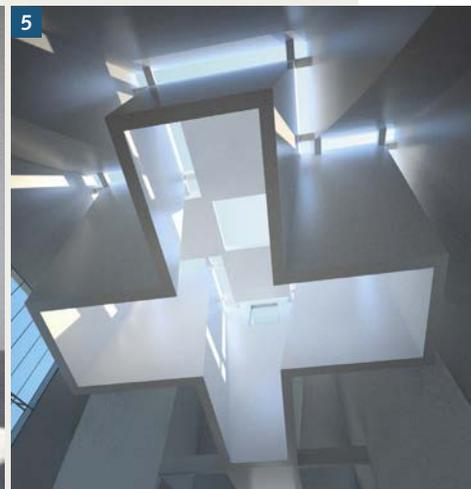
1

1. IL FABBRICATO è caratterizzato dall'utilizzo di calcestruzzo fotocatalitico autocompattante Scc utilizzato per di tutte le strutture lasciate volutamente a vista.

2. RENDER. Il nuovo edificio è stato realizzato nel comune di Trezzano ed è ubicato lungo la sponda del Naviglio milanese.

3. RENDER del sagrato d'ingresso al complesso religioso.

4, 5. RENDER della particolare copertura dell'aula assembleare.





6



7



8

incompatibili con la struttura della chiesa. È stata perciò deciso di progettare **fondazioni profonde** con l'adozione di **pali vibro-infissi** diametro 300 mm inflitti a circa 12 m con cassero a recupero fondello a perdere e getto in opera. Le armature previste, in conformità ai minimi indicati nelle Ntc 2008 per la zona sismica, sono 7 dal diametro di 12 mm per ciascun palo con spirale diametro 8 mm passo 15 cm. L'intero complesso, diviso **in tre parti da giunti strutturali**, ha strutture di fondazione nastriformi poggianti sui pali di fondazione. In condizioni statiche la portata ultima dei pali di fondazione è di 403,77 kN; per le verifiche sismiche i pali sono stati verificati anche per la portanza trasversale utilizzando la costante di Winkler orizzontale. Ciascun palo è stato verificato ponendo direttamente nel modello 3D completo della chiesa e delle opere un vincolo nell'esatta posizione prevista per ciascun palo e quindi potendo leggere puntualmente la sollecitazione sulla testa di tutti i pali.

STRUTTURE

La Chiesa è caratterizzata da una **vela in calcestruzzo armato** posta sopra l'altare che chiude sulla

sommità con le altre pareti verticali; la conclusione della vela, in copertura, forma una grande croce su cui è poggiato il **lucernario** principale realizzato in **carpenteria metallica**. Il tetto piano totalmente aperto è dunque stato chiuso con un reticolo cruciforme di travi in acciaio che hanno la funzione sia di assorbire le spinte dovute alla forma della struttura in calcestruzzo, ridistribuendole su tutti i setti, che di sostenere la croce interna, sospesa sull'aula, realizzata da un telaio in acciaio rivestito in cartongesso. **I restanti corpi di fabbrica** che formano il complesso religioso sviluppano complessivamente un'altezza di circa 6,8 m con dimensioni in pianta complessive di circa 45,5 m di lunghezza per 61,5 m di larghezza, tutte le parti strutturali in calcestruzzo sono realizzate completamente gettate in opera.

Metodo di calcolo

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo **MasterSap**, prodotto da Studio Software Amv di Ronchi dei Legionari (Gorizia). Il calcolo del complesso parrocchiale è stato eseguito dividendo l'intero fabbricato in tre parti fisicamente separate dai giunti strutturali. I giunti

sono stati realizzati con perni tipo Cret. Nel modello si sono posti opportuni vincoli le cui reazioni sono state utilizzate per il dimensionamento degli apparecchi per i giunti. Tutti e tre i modelli di calcolo della struttura, totalmente in calcestruzzo con spessore medio di 25 cm, sono stati studiati con l'utilizzo di elementi finiti bidimensionali a tre/quattro nodi. La modellazione strutturale effettuata per le tre parti costituente il complesso parrocchiale, oltre a permettere il dimensionamento delle singole pareti componenti la costruzione e a mettere in conto gli effetti sismici, ha permesso di verificare e capire il comportamento tridimensionale di alcune parti della struttura.

Sagrato

La struttura del sagrato, che chiude l'accesso alla chiesa dalla strada, è caratterizzata da setti sospesi di altezza 3,3 m ortogonali al muro di confine con sporgenze di 2,2 m verso il sagrato. Con il modello 3D è stata possibile la realizzazione di questi elementi sporgenti studiando l'effetto stabilizzante della soletta di copertura che con il suo funzionamento a trave orizzontale permette la stabilità dell'intera

IL CANTIERE

Committente: Arcidiocesi di Milano, Parrocchia di Trezzano sul Naviglio

Progetto architettonico: Quattroassociati (arch. Corrado Annoni, Stefano Parodi, Michele Reginaldi, Daniela Saviola)

Progetto strutturale: Biesse Consulting srl ing. Bruno Salesi

Progetto impiantistico: Studio Ctv Sas ing. Giampiero Ajani

Progetto acustico: Biobyte Srl ing. Enrico Moretti

Illuminotecnica: Ferrara Palladino Srl, arch. Cinzia Ferrara

Artista: Giovanni Frangi

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

Quattroassociati è uno studio di architettura e urbanistica costituito a Milano nel 1990 da Corrado Annoni, Stefano Parodi, Michele Reginaldi e Daniela Saviola.



Studio Quattroassociati

Quattroassociati ha raccolto sin dall'inizio della sua attività importanti riconoscimenti in concorsi internazionali di progettazione, ha progettato e realizzato edifici pubblici, spazi collettivi, edifici residenziali e commerciali, piani urbanistici e recupero di aree industriali dismesse. Si è occupata inoltre della progettazione di infrastrutture stradali,



9

opera. L'abbassamento dei setti è stato oggetto di misurazione all'atto dello scasso ed ha fornito i risultati attesi previsti dal programma di calcolo. La trave che unisce i setti ha solo un valore estetico ed è portata dai setti sporgenti. Particolare dell'armatura del muro perimetrale è l'armatura orizzontale aggiuntiva esterna composta da ferri di diametro 12 mm calcolata per assorbire la flessione del muro soggetto alla spinta orizzontale dovuta all'eccentricità dei setti.

Pensilina

La pensilina che corre sui lati sud e ovest del complesso parrocchiale ha richiesto la modellazione attraverso software. Il primo è il tratto sulla via Buozzi in cui la trave di supporto della pensilina è armata a torsione per resistere alle sollecitazioni in prossimità della grande apertura sul patio interno. La sezione della trave è stata oggetto di ottimizzazione per ridurre la flessione della pensilina, massima proprio in corrispondenza dell'apertura. La torsione interessa anche la fondazione al di sotto del muro. Il secondo tratto, in corrispondenze all'angolo dove la pensilina è supportata dal muro posto solo al di



10

sopra della pensilina, è sospeso con appoggio solo sul lato ovest. L'abbassamento della pensilina è stato oggetto di misurazione all'atto dello scasso ed ha fornito i risultati inferiori a quelli attesi previsti dal programma di calcolo.

La pensilina è armata superiormente con barre con diametro 16 mm aumentati in alcuni tratti utilizzando barre con diametro 20 mm. Particolare attenzione, per la variabilità dei casi, è stata posta per assicurare l'ancoraggio dei ferri superiori tesi dovendosi procedere sempre con il getto della pensilina dopo quello della parete di supporto.

Parete sulla vasca d'acqua

Realizzata sospesa sopra la vasca d'acqua sul lato della chiesa, la parete ha dimensioni di 4,5 m di larghezza, 4,7 m di altezza e spessore 20 cm ed è collegata alla parete laterale della chiesa solo lungo un lato verticale. Anche in questo caso lo studio del modello tridimensionale ha permesso di disporre un'armatura orizzontale e verticale idonea allo sbalzo e alla parete di supporto. Nella parte alta la parete è sostenuta da un reticolo di travi la cui principale ha dimensione 55 cm di larghezza per un'altezza

6. LE FASI DI REALIZZAZIONE dell'edificio sono state calcolate grazie anche all'ordine di scasseratura delle enormi strutture in calcestruzzo, il vespaio dell'aula assembleare è così risultato in coda ad altre lavorazioni.

7. CONL'UTILIZZO DI PIATTAFORME PANTOGRAFATE si è potuto controplaccare l'intera struttura della copertura dell'aula assembleare per procedere successivamente con le finiture previste da progetto.

8, 9. IL CONO DI LUCE a forma di croce è stato ottenuto mediante carpenteria metallica assiemata a terra e varata in quota. Su di essa successivamente è stato applicato un rivestimento in cartongesso con caratteristiche acustiche. Le operazioni di varo in quota delle carpenterie metalliche hanno richiesto l'utilizzo della gru di cantiere.

10. IL LUCERNARIO di copertura dell'aula assembleare è caratterizzato da vetri antisfondamento e da intelaiatura metallica perimetrale con funzione strutturale anche sulle volte in calcestruzzo armato.



Ing. Bruno Salesi

ponti e grandi impianti tecnologici. Ha partecipato a numerosi concorsi a inviti, nazionali e internazionali ed è attiva nel campo del disegno d'interni. Collabora stabilmente con importanti marchi industriali e commerciali per i quali progetta uffici, spazi per la produzione, negozi e allestimenti fieristici.

PROGETTAZIONE STRUTTURALE

Bi.Esse Consulting sas è stata fondata dall'Ing. Bruno Salesi nel 1997 ed è specializzata nella progettazione e direzione lavori di opere strutturali, coprendone le diverse tipologie (calcestruzzo, acciaio, legno) e settori (industriale, residenziale, infrastrutture e terziario).

L'organizzazione prevede la costituzione di un gruppo di lavoro per ogni progetto acquisito; il calcolo è normalmente impostato attraverso l'utilizzo di modellazione tridimensionale del programma Mastersap Amv in grado di verifiche automatiche in conformità con i codici e le normative maggiormente aggiornate. Tra i lavori sinora seguiti si possono annoverare il termovalorizzatore di via Silla a Milano, il



Mario Meraviglia

depuratore Sud di Milano, una torre di raffreddamento a Singapore, l'ampliamento dell'ospedale di Valence in Francia, la centrale Enel di Porto Tolle.

CONTRACTOR

Meraviglia, nata dalla volontà di Mario Meraviglia, oggi è guidata dalla famiglia e soprattutto dai figli Sergio, Bruno, Paola e Mauro. Meraviglia spa offre soluzioni su misura nel campo dell'edilizia residenziale, industriale e della riqualificazione degli immobili, pubblica e privata. La struttura aziendale è pensata per fornire progetti integrati chiavi-in-mano: dallo studio di fattibilità alla realizzazione dei disegni esecutivi, dallo studio architettonico al design d'interni, dall'esecuzione dei lavori alla vendita. Obiettivo dell'azienda, in Italia e all'estero è offrire un prodotto di qualità, ecosostenibile, in tempi e costi ridotti, a garanzia di affidabilità, solidità e innovazione. Oltre a investire direttamente in progetti di proprietà, l'azienda è in grado di partecipare ad appalti pubblici (Soa), fino a importi illimitati per la categoria relativa alla realizzazione di opere civili e industriali.

Calcestruzzi e opere provvisionali

La struttura è realizzata con **calcestruzzo bianco Scc autocompattante, additivato con principio Tx attivo per quanto riguarda le parti a vista, con calcestruzzo tradizionale per le fondazioni o le parti non a vista.**

■ CASSEFORME

Le strutture in calcestruzzo (bianco e grigio) dalle peculiarità statiche ed estetiche sono state gettate impiegando tecnologia **Doka**. Nello specifico, per la realizzazione del basamento a quota + 6.80 m sono state impiegate **cassaforme a travi (Top 50)** con manto per calcestruzzo faccia a vista le murature esterne abbinati a **casseri a telaio (Frameco)** per eseguire i getti grigi non in faccia a vista. Per il sostegno delle travi parete in calcestruzzo armato sospese e delle strutture sottili (alle quali era necessario dare una controfreccia importante), sono state utilizzate **torri di puntellazione (Staxo 100 e Staxo 40)** per lavorare in sicurezza statica al resto del cantiere, a sostegno della struttura sino al raggiungimento dell'indurimento pre-stabilito dalla direzione strutturale.

Le pensiline e i solai con soffitto faccia a vista sono stati cantierizzati mediante il sistema **Dokaflex 1-2-4**, con pannello 350 accoppiato a strisce di pannello fenolico di 9 mm tagliate a misura (sempre 50 centimetri di larghezza). I getti in quota sono stati approntati attraverso l'utilizzo dei ponti pieghevoli **K**, mensole rampanti, in grado di consentire di avere l'area sottostante completamente libera da ponteggio.

La **realizzazione della vela**, che caratterizza la sala dell'assemblea, ha richiesto l'utilizzo di torri di puntellazione **Staxo 40** opportunamente controventate, per mantenere la struttura durante tutte le fasi di fresco del calcestruzzo e consentire la staticità generale dell'opera. I puntelli regolabili **T7** e listelli metallici hanno consentito l'inclinazione alle casseforme **Top 50** di circa 30° gradi in modo da riprendere la geometria del progetto.

■ CALCESTRUZZO

Per la struttura si è impiegato il **calcestruzzo fotocatalitico autocompattante Scc** a ritiro nullo bianco e a prestazione garantita (Uni En 206-1) prodotto da **Calcestruzzi Spa, Itc e laboratorio Axim**. I principali obiettivi con cui i calcestruzzi sono stati progettati rientrano all'interno delle tipologie: classe di esposizione **Xc4**; classe di resistenza **C28/35**; rapporto acqua/cemento **0,5**; contenuto minimo cemento bianco **340 kg/mc**; aggregati naturali locali.

Per garantire una **buona resa estetica e una continuità cromatica**, la scelta è stata quella di individuare un **impianto di betonaggio (Gaggiano)** e dedicarlo esclusivamente alla fornitura del calcestruzzo bianco per il cantiere in oggetto, rispondendo alle esigenze estetiche richieste da progetto. Per soddisfare le esigenze di **autocompattabilità** è stata confezionata una miscela con un **rapporto acqua/cemento** non troppo basso ($a/c=0,45$) così da non pregiudicare le capacità di scorrimento dell'impasto, impiegando un additivo **superfluidificante** che (lasciando immutato il dosaggio di acqua e cemento) ha consentito di aumentare la **lavorabilità** del conglomerato.

La produzione di un calcestruzzo con un **elevato indice reologico** dipende non solo dall'impiego di additivi superfluidificanti ma soprattutto da un corretto proporzionamento della miscela; per tale motivo si sono rispettate alcune regole caratteristiche dei prodotti Scc: dosaggio di cemento elevato per assicurare una sufficiente coesione (**350-450 kg/mc**); presenza di filler in sostituzione del cemento; assortimento granulometrico degli aggregati per evitare fenomeni di bleeding e segregazione; dimensione massima dell'aggregato minore di **25 mm** così da poter garantire una migliore mobilità del conglomerato.

Il contenuto di fini ottimale diminuisce all'aumentare del diametro massimo dell'aggregato: maggiore è il diametro massimo, minore è il contenuto di fini necessario per confezionare un buon impasto. Il corretto contenuto di finissimi è riportato nella tabella 1.

Per garantire la **mobilità del calcestruzzo** il volume di aggregato grosso ($15 \text{ mm} \leq D_{\text{max}} \leq 25 \text{ mm}$) non ha superato il volume di **340-360 l** per 1 mc di calcestruzzo. Al fine di garantire la coesione all'impasto fluido, il volume di parti fini (cemento+cenere+filler+fumo di silice) deve essere compreso tra **170 e 210 l/mc**; questo quantitativo di pasta, in eccesso rispetto ai calcestruzzi tradizionali, avvolge i granuli di inerte riducendo i fenomeni di blocking. Per garantire un rapido movimento del calcestruzzo Scc, il rapporto acqua/finissimi deve essere

di **69 cm** ed è armata con **5 barre** diametro **20 mm** poste inferiormente. Il suo dimensionamento è stato definito sulla base di considerazioni deformative. Particolare attenzione si è posta nella messa in opera dell'armatura di interfaccia tra la parete sospesa e la trave di supporto.

Copertura della zona dell'altare

La trave più significativa dell'intero complesso è quella che sostiene la soletta in calcestruzzo pieno di copertura della zona dell'altare e che corre pa-

rallela alla vela che già sostiene la soletta di copertura senza appoggio con una luce complessiva di **19,5 m** con sezione di larghezza **30 cm** per un'altezza di **85 cm**.

Per ridurre il momento flettente di campata è stata fatta proseguire oltre l'appoggio di **2,5 m** per il sostegno della parete laterale del coro. Alla trave sono appoggiati anche i serramenti che danno luce alla zona dell'altare. La trave è armata con **6 barre** diametro **24 mm** poste inferiormente in campata e **8 barre** diametro **24 mm** poste sull'appoggio.



TABELLA 1. DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO E CONTENUTO DI FINISSIMI

D _{MAX} AGGREGATO (MM)	CONTENUTO MINIMO (KG/MC)	CONTENUTO MASSIMO (KG/MC)
4	515	590
8	450	515
16	410	470
25	370	430
32	350	410

TABELLA 2. COMPOSIZIONE IMPASTO

N°IMPASTO	MISCELA 1	MISCELA 2
data impasto	06/07/2011	06/07/2011
AGGREGATI TOTALI (kg/mc)	1640	1610
Carbonato di Calcio	115	115
CEMENTO (kg/mc)	tipo	TX 42,5 R ITC CALUSCO
	dosaggio	410
ADDITIVO 1 (kg/mc)	tipo	Creactive 4
	dosaggio	5,29 (1,29% sul cemento) 4,9 lt
ADDITIVO 2 (kg/mc)	tipo	Mapecure SRA 25
	dosaggio	1 % sul cemento
AGGIUNTE (kg/mc)	tipo	Espondex C new
	dosaggio	20
ACQUA EFFICACE (kg/mc)	185	185
RAPPORTO A/C	0,45	0,45

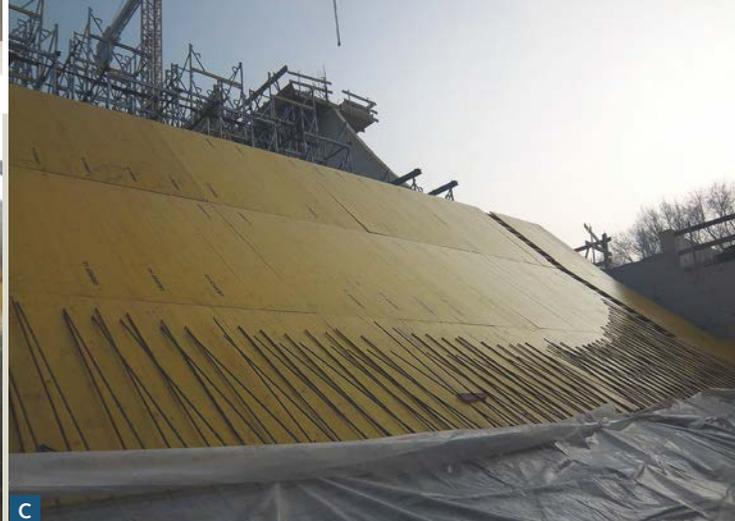
compreso tra **0,85 e 1,20** (se si riducesse troppo l'acqua con l'impiego degli additivi superfluidificanti si avrebbe l'effetto collaterale di rendere il calcestruzzo meno fluido e troppo viscoso. È necessario impiegare additivi superfluidificanti con dosaggi di circa **1-1,5%** sul dosaggio del cemento al fine di conservare le proprietà reologiche.

Considerata la richiesta di un calcestruzzo a ritiro nullo, al fine di valutare l'effetto di additivi antiritiro ed espansivi in termini di espansione contrastata è stata condotta una comparazione tra due impasti in calcestruzzo. Sono stati confezionati due impasti con mix-design; in entrambe le miscele è presente un **agente antiritiro**, ma solo nella miscela 2 è stato aggiunto anche un **agente espansivo (tabella 2)**.

Stabilità globale della chiesa

La stabilità della struttura della chiesa è **assicurata dall'effettoforma delle strutture e del suo comportamento tridimensionale.**

Elementi come la vela posteriore e il campanile frontale non trovano la loro stabilità **senza la struttura metallica di copertura**, costituita dalle **quattro travi principali a cassone** che hanno come loro compito principale quello di chiudere la struttura assicurando il funzionamento tridimensionale e facendo in modo che gli effetti delle eccentricità strut-



A, B, C. LA REALIZZAZIONE della copertura della sala dell'Assemblea ha richiesto un ponteggio particolare realizzato con tecnologia Doka.

D. TUTTE LE STRUTTURE ESTERNE sono caratterizzate da snellezza accentuata anche grazie all'utilizzo di Calcestruzzo Italcementi fotocatalitico autocompattante Scc.

TABELLA 3. PROVE ALLO STATO FRESCO

	MISCELA 1	MISCELA 2
Slump Flow (mm) a 30 minuti	730	720
massa volumica del fresco (kg/mc)	2380	2377
massa volumica Teorica(kg/mc)	2357	2351
Resa (%)	0,99	0,989

TABELLA 4. PROVA DI RESISTENZA A COMPRESIONE

	MISCELA 1	MISCELA 2
Scadenza di rottura	Compressione N/mm ²	Compressione N/mm ²
7 gg	49,2	46,9
28 gg	53,1	53,5

Su ciascun impasto è stato misurato lo slump flow a 30 minuti e calcolata la massa volumica allo stato fresco e la resa.

Sono stati quindi confezionati i cubi da larghezza 15, altezza 15 e profondità 15 cm per valutare la resistenza a compressione a 7 e 28 giorni secondo norma Uni En 12390-3 i cui risultati sono riportati in **tabella 4**.

Per la prova di espansione contrastata come da normativa Uni8148:2008 sono stati confezionati dei travetti di dimensioni larghezza 80 mm, lunghezza 80 mm e altezza 240 mm utilizzando degli appositi stampi il cui schema è riportato in figura. Ogni travetto ha una armatura di contrasto sulla quale si scaricano gli effetti di espansione e successiva contrazione del calcestruzzo. Per la misura delle deformazioni è stato utilizzato un comparatore ad asse verticale, millesimale, collegato a un supporto autocentrante del provino e avente i terminali di appoggio di forma emisferica.

La normativa prevede 2 metodi di stagionatura uno in acqua satura in calce e uno in aria con umidità del 55%. Per le finalità prefisse è stato seguito il secondo metodo in quanto più si avvicina al caso reale di strutture messe in opera.

Nel **grafico 1** si riporta l'andamento dell'espansione nel tempo.

Come si può notare dal grafico, confrontando gli andamenti delle due miscele, l'effetto dell'agente espansivo contrasta il fenomeno del ritiro, portando a una contrazione ridotta

turali e dell'azione orizzontale del vento si possano redistribuire su tutte le pareti laterali della chiesa permettendo anche di avere il tetto piano completamente aperto. Le quattro travi costituiscono inoltre gli appoggi del lucernario e della grande croce sospesa al centro dell'aula.

I muri della chiesa sono in generale armati con barre diametro 12 mm posti verticalmente, tranne in alcuni casi di muri impegnati a flessione in cui si è utilizzato barre diametro 16 mm come nelle pareti laterali al campanile.

Vela

La vela è stata realizzata con il **getto di calcestruzzo** con spessore 25 cm, di sezione a omega, appoggiato alle pareti laterali della chiesa e sospeso nella sua parte finale al di sopra della zona dell'altare. La vela è stata inserita nel **modello di calcolo** con la sua reale curvatura utilizzando il doppio raggio come dai disegni architettonici e utilizzando elementi finiti a guscio a tre/quattro nodi. Il peso specifico del materiale è stato aumentato per tenere in conto dell'effettivo peso della finitura in pietra. Oltre al

Espansione Contrastata

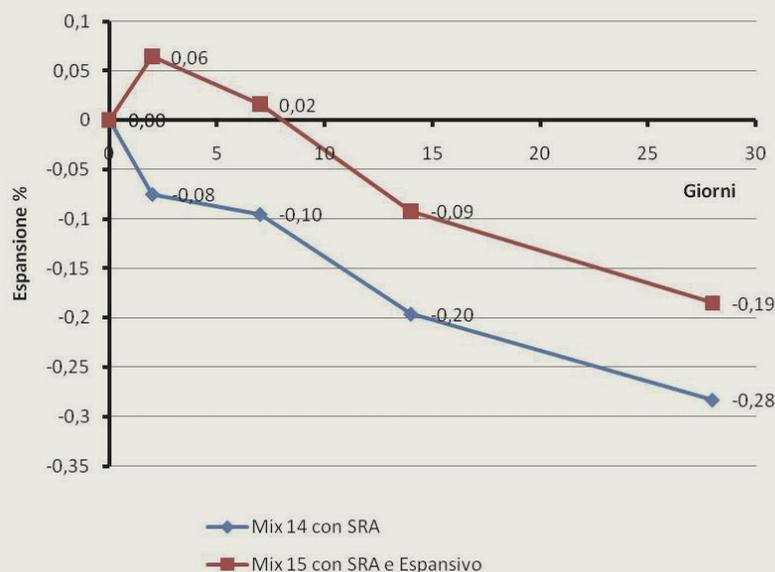


GRAFICO 1

nel tempo rispetto alla miscela con solo agente antiritiro, con conseguente minor rischio di fessurazione per le strutture messe in opera.

Sulla base dei risultati di laboratorio, dopo i primi getti realizzati con il solo impiego dell'additivo Sra si è quindi scelto di impiegare anche l'agente espansivo al fine di raggiungere l'obiettivo di ritiro nullo.

L'utilizzo del filler di colore bianco in quantità di oltre 115 kg/mc ha consentito oltre che di realizzare un calcestruzzo Scc di ridurre la frazione fine naturale e quindi migliorare la cromaticità del calcestruzzo in opera in considerazione del fatto che gli aggregati impiegati nella miscela sono di tipo naturale. Per raggiungere un buon mantenimento della lavorabilità nel tempo è stato introdotto un additivo polimerico Creative 4 della Società Axim. È stata inoltre messa a punto uno stucco minerale a elevata attività fotocatalitica in collaborazione con la Società Vimark per i ripristini di piccole porzioni di opera. La miscela è stata realizzata utilizzando una base di cemento TX con il filler di calce già impiegato nel Mix Design così da poter ottenere una resa cromatica il più possibile coerente con quella del calcestruzzo in opera.

modello a elementi finiti bidimensionali della vela si è proceduto a creare un secondo modello in cui la vela era simulata con un graticcio di travi in modo che fossero più evidenti le azioni all'interno della struttura e più facilmente leggibili le risultanti. Da entrambe le analisi si è evinto che la parte terminale sospesa della vela ha un comportamento ad «arco rovesciato»; il bordo libero della vela al di sopra della zona dell'altare risulta compresso perché puntando sulle due sezioni terminali di appoggio contrasta la trazione nella vela. Nel tratto orizzon-



11 12



11. GRAZIE ALLA FORTE RESISTENZA del calcestruzzo e all'analisi computerizzata supervisionata dall'esperienza dell'uomo, è stato possibile realizzare strutture leggere e con presenza di grandi aperture.

12. VISTA ESTERNA DA VIA COLOMBO. La struttura è stata realizzata totalmente in calcestruzzo fotocatalitico autocompattante bianco dal potere di conservare inalterato nel tempo l'aspetto estetico grazie alla proprietà dell'auto-pulizia della superficie, con prestazioni meccaniche e durezza di rilievo.

13. IL SAGRATO è caratterizzato dalla leggerezza delle strutture.

14. IL PRESBITERIO e il mantello absidale.

15. AULA LITURGICA vista dal presbiterio.

16, 17. CAPPELLA feriale vista dall'aula e dall'interno.

tale tra i due appoggi si identifica inoltre la tipica trazione alla base di un arco.

L'**armatura del bordo libero** della vela è stata eseguita come per una trave compressa con barre diametro 16 mm calandrati e staffati. Nella zona tesa tra gli appoggi si sono inseriti barre di diametro 20 mm orizzontali. L'**armatura verticale** disposta nella vela è calcolata, oltre che per la trazione, per il momento flettente dovuto al peso proprio e al vento agente ed è composta da barre di diametro 12 e 16 mm posate a passo 20 cm.

ASPETTO SISMICO

Per il calcolo delle sollecitazioni si è utilizzato un fattore di struttura pari a 3 (strutture in calcestruzzo armato a pareti) e classe di duttilità bassa (Cd «B»). Le tre parti costituenti il complesso parrocchiale sono costituite da **pareti con funzionamento tri-dimensionale**, le azioni orizzontali sismiche e del vento si distribuiscono su tutte le pareti che compongono il complesso tramite i piani rigidi delle solette in calcestruzzo pieno.

STRUTTURA METALLICA

Le quattro travi metalliche di copertura a cassone, oltre che a **chiudere superiormente la struttura**

in calcestruzzo assicurando la distribuzione delle sollecitazioni orizzontali sui setti laterali componenti le pareti della chiesa, hanno il compito di **supportare il lucernario** superiore e la struttura della croce sospesa.

Le quattro travi a cassone in acciaio S355 hanno sezioni con larghezza 34 cm per un'altezza di 60 cm e si differenziano a due a due a secondo della loro funzione; le due travi che supportano le mensole per la croce hanno 4 bulloni classe M30 su ciascuna estremità e sono sollecitate oltre che a compressione e a flessione anche a torsione mentre le due travi che sostengono il lucernario hanno 2 bulloni classe M30 su ciascuna estremità e sono sollecitate a compressione e flessione. Le travi sono fissate alla struttura in calcestruzzo mediante bulloni che sono stati inseriti in appositi tubi filettati posizionati nelle mensole in calcestruzzo nella fase di getto. Sulle travi con le mensole di sospensione della croce è stata eseguita una prova di carico per verificarne la resistenza.

Croce sospesa

Il volume della croce interna è stato realizzato **interamente in acciaio e rivestito in cartongesso**. La struttura è sostenuta mediante 16 punti di ancorag-



13



14



15



16

gio alla copertura: 12 sono su mensole vincolate al cordolo in calcestruzzo che corre su tutto il perimetro dell'apertura superiore e 4 sono su mensole saldate alle 2 travi a cassone in acciaio principali. Ciascuna delle 12 pareti che compongono la croce è realizzata con quattro pannelli, i cui profili hanno spessore 4 e 6 mm, opportunamente controventati. Le 12 pareti vengono assemblate in cantiere e fissate tra loro mediante angolari di spessore 6 mm appositamente piegati in acciaio S355, utilizzando bulloni di classe 8.8 e piastre di acciaio di spessore 20 mm superiormente sugli angoli.

MATERIALI E FINITURE

L'intero complesso è realizzato con **muratura e solai in calcestruzzo bianco Scc autocompattante, additivato con principio Tx attivo per quanto riguarda le parti a vista, tradizionale per le fondazioni o le parti non a vista.**

Internamente l'edificio è rivestito con **contropareti e controsoffitti in cartongesso**, con adeguata intercapedine atta a contenere un isolamento termoacustico in pannelli di fibra di poliestere riciclato. La struttura esterna a mantello dell'abside, l'interno del campanile e le pareti esterne fino a un'altezza di 2,40 m sono rivestiti in **pietra naturale chiara sabbiata «Perlato Royal»**. La stessa pietra è utilizzata per la zoccolatura interna dell'aula liturgica, che riprende lungo le pareti, la quota segnata dall'innalzamento del pavimento del presbiterio. Anche **i pavimenti** della chiesa e delle parti comuni, così come le schermature delle terrazze, la scala, le soglie e le copertine alla quota + 3,20 m sono in Perlato Royal. Ampie zone del sagrato, della piazza e dei marciapiedi sono pavimentate con cubetti di granito.

ASPETTI ACUSTICI

Nella progettazione acustica si è considerato il fatto che, nella chiesa semivuota, il riverbero prodotto dalle pareti, dai pavimenti e dalla forma architettonica del soffitto non compromettesse l'intelligibilità

del parlato. Gli elementi architettonici, il loro disegno e in generale le caratteristiche acustiche delle superfici sono tali da **evitare riflessioni multiple, la focalizzazione dei raggi sonori, e tempi di riverberazione troppo lunghi**. Si è previsto di assicurare alla chiesa condizioni acustico architettoniche idonee ad accogliere e valorizzare l'ascolto,

rivestendo la struttura «a croce sospesa» e la parete contrapposta all'altare con materiale fonoassorbente Sto Panel, dalla finitura superficiale liscia e simile nell'aspetto al cartongesso. In generale in tutto il complesso sono stati **studiati i punti critici e indicati i requisiti di abbattimento acustico**, in particolare per le porte e le bussole. ●

Il valore delle competenze



Ing. Marco Lacca
progettista strutturale
Biese Consulting Sas

«Per realizzare le varie strutture in calcestruzzo è stato necessario definire

in modo accurato le puntellazioni e spuntellazioni, in quanto molte opere risultano visivamente sospese. Il progetto richiedeva di garantire la realizzazione in continuità dei muri faccia a vista esterni, senza evidenziare la lettura dei solai retrostanti, soprattutto nella veletta completamente sospesa. La particolarità dell'intervento è stata quella di trovare ogni volta una soluzione ad hoc per cantierizzare piccole porzioni di struttura. Un altro tema interessante ha riguardato lo studio della chiusura in fase di cantiere del grande lucernario».



Ing. Deborah Floris
Responsabile
tecnologico
territoriale zona
Lombardia
Calcestruzzi Spa

«Una struttura di tale prestigio architettonico e significato simbolico imponeva l'impiego di un calcestruzzo straordinario, capace non solo di prestazione meccanica e durevolezza di rilievo, ma caratterizzato anche da un colore bianco e dal potere di conservare inalterato nel tempo l'aspetto estetico grazie alla proprietà dell'auto-pulizia della superficie. Per questo motivo è stato utilizzato un calcestruzzo contenente TX Active, il principio attivo fotocatalitico per materiali cementizi, brevettato da Italcementi».



Geom. Antonio Mafri
responsabile Impresa
Meraviglia Spa

«Il maggior tema che abbiamo affrontato all'interno della

cantierizzazione della chiesa è stato l'approvvigionamento dei materiali e la loro cantierizzazione, poiché il progetto prevede lo sviluppo dell'edificato su quasi tutto il lotto di pertinenza. La gestione degli arrivi dei materiali è stata resa possibile grazie all'esperienza dell'impresa e alla collaborazione con i progettisti strutturali che ci hanno supportato per l'approntamento delle fasi di scasso programmato».



Ing. Ivan Vertemati
Tecnico di progetto
Doka Italia Spa

«Strutture complesse come queste ci richiedono studi approfonditi, per progettare casseforme capaci di soddisfare molteplici esigenze: statiche, architettoniche ma anche logistiche e di sicurezza. Ogni soluzione è stata valutata e verificata nel dettaglio, insieme all'impresa e ai progettisti, affinché rispondesse completamente a tutte queste aspettative. L'assistenza costante in cantiere ha rappresentato una componente irrinunciabile per garantire la qualità dei risultati».

17

