



# Sperimentazione Conciliate resa estetica e prestazioni strutturali

**Adottate soluzioni costruttive sperimentali, ideate specificamente per dare vita alla complessità delle forme progettate, con pareti curvilinee e arditi intrecci in quota di spazi e superfici dalle finiture monolitiche.**

**R**alizzato da Italiana Costruzioni spa assieme a Sac spa e progettato da Zaha Hadid e Patrik Schumacher, il Maxxi (acronimo di Museo Nazionale di Arte del XXI secolo) è stato da poco completato e inaugurato al pubblico nel quartiere romano del Flaminio nell'area dell'ex caserma Montello. La sua realizzazione rappresenta il primo spazio dedicato alla creatività contemporanea, all'arte e all'architettura del ventunesimo secolo in Italia. Il complesso museale è strutturato in due sezioni: Maxxi Arte e Maxxi Architettura, con lo scopo di promuovere l'arte e l'architettura attraverso lo studio e la diffusione

dei linguaggi più attuali. L'attuale collezione del Maxxi Arte è composta da oltre 300 opere, tra le quali si annoverano nomi quali Boetti, Clemente, Kappor, Kentridge, Merz, Warhol. Maxxi Architettura raccoglie sotto di sé i progetti degli autori contemporanei quali Toyo Ito, Italo Rota e Giancarlo De Carlo con un grosso catalogo di collezione fotografica e cantieri d'autore. Nei suoi 27.mila mq, Maxxi comprende i due musei, un auditorium, una biblioteca e mediateca, bookshop e caffetteria, spazi per esposizioni temporanee e spazi all'aperto, per eventi dal vivo e attività commerciali, laboratori, luoghi per lo studio e lo svago. I

## I NUMERI DEL CANTIERE

### DATI DI PROGETTO

Superficie totale del lotto **29.000 mq**  
Spazi esterni **19.640 mq**  
Spazi interni **21.200 mq**  
Superficie espositiva **10.000 mq**  
Servizi **6.000 mq**  
Maxxi Arte **4.077 mq**  
Maxxi Architettura **1.935 mq**  
Cubatura totale **113.000 mc**  
Altezza massima **22,90 m**

### DATI DELLA COSTRUZIONE

Superficie costruita **23.816 mq**  
Demolizioni preesistenze **100.000 mc**  
Acciaio per le strutture **6.000.000 kg**  
Acciaio per le carpenterie della copertura **700.000 kg**  
Calcestruzzo gettato in opera per la realizzazione delle strutture **50.000 mc**  
Superficie di cassero **40.000 mq**  
**di cui 20.000 mq «facciavista»**  
Superfici vetrate lucernai **2.600 mq**  
Occupati nel cantiere Maxxi **100 persone in media al giorno (tecnici e operai) per 1.500 giorni**  
Ore di lavoro nel cantiere **1.250.000**

### TEMPI

Tempi progetto **1998-2003**  
Tempi di realizzazione **2003-2008**



## IL CANTIERE

### COMMITTENTE

Ministero per i Beni e le Attività culturali, Direzione generale per la qualità e la tutela del paesaggio, l'architettura e l'arte contemporanea

**Direttore generale:** Francesco Prosperetti Dirigente generale Progetto Fondazione Maxxi Pio Baldi

**Responsabile del progetto:** Margherita Guccione

**Segreteria tecnica:** Francesca Fabiani

**Architetti di staff:** Carlo Birrozzi, Francesca Fabiani, Alessandra Fassio, Alessandra Mele, Esmeralda Valente, Alessandra Vittorini, Elisabetta Viridia

### PROGETTO

**Progettisti:** Zaha Hadid e Patrik Schumacher

**Capoprogetto:** Gianluca Racana [Zaha Hadid Limited]

**Team di progetto:** Paolo Matteuzzi, Anja Simons, Fabio Ceci, Mario Mattia, Maurizio Meossi, Paolo Zilli, Luca Peralta, Maria Velceva, Matteo Grimaldi, Ana M. Cajiao, Barbara Pfennigstorf, Dillon Lin, Kenneth Bostock, Raza Zahid, Lars Teichmann, Adriano De Gioannis, Amin Taha, Caroline Voet, Gianluca Ruggeri, Luca Segarelli, Abt David Sabatello e Giancarlo Rampini

**Strutture:** Anthony Hunt Associates, Ok Design Group

**Impianti:** Max Fordham and Partners, Ok Design Group

**Illuminotecnica:** Equation Lighting

**Acustica:** Paul Gilleron Acoustic

### STAZIONE APPALTANTE

Ministero delle Infrastrutture, Provveditorato interregionale per le opere pubbliche per il Lazio, l'Abruzzo e la Sardegna

**Provveditore:** Francesco Saverio Campanale

**Responsabile del procedimento:** Roberto Linetti

**Consulente per la qualità:** Remo Calzona

**Direttore dei lavori:** Roberto Tartaro

**Direttore operativo per l'architettura:** Mario Avagnina

**Direttore operativo per le strutture:** Ferdinando Fonti

**Direttore operativo per gli impianti:** Angela Aprile

**Ispettori di cantiere:** Valter Gentile, Giorgio Grossi, Giovanni Marchionni, Daniele Reali, Dario Sbaraglia

**Responsabile per la sicurezza in fase di esecuzione:** Riccardo Morena

**Contractor progetto esecutivo ed esecuzione:** Consorzio Maxxi 2006

**Capogruppo mandataria:** Italiana Costruzioni Spa (Gruppo Navarra)

**Mandante:** Sac Società Appalti Costruzioni Spa (Gruppo Cerasi)

**Capo Commessa:** Marco Odoardi

**Direttore Tecnico di cantiere:** Roberto Rossi

**Capo Cantiere:** Gianni Scenna

**Assistente Capo:** Cantiere Luigi Carducci

**Ufficio Tecnico:** Daniele Centurioni, Silvia La Pergola, Fabio Ceci

**Coord. Progettazione-Esecuzione:** Impianti Claudio Passini

**Ufficio Contabilità:** Roberto Cascino, Enrico Bottacchiaro

### PROGETTO ESECUTIVO-COSTRUTTIVO PER CONTO DEL CONTRACTOR

**Validatore progettazione strutturale:** Antonio Maffey

**Progettazione strutturale:** Studio Spc Srl, Giorgio Croci, Aymen Herzalla

**Prog. strutturale carpenterie metalliche scale e solaio «monocoque»:** Studio Edin Srl, Fabio Brancaleoni, Marcello Colasanti

**Consulente miscela Scc:** Mario Collepari

**Consulente per gli impianti elettrici:** Gabriele Gangemi

**Consulente per gli impianti meccanici:** Francesco Lucernari

**Consulente per il progetto antincendio:** Riccardo Gabbrioli

**Consulente banchinaggi e casseri:** Pori Italia Spa

**Consulente in materia di acustica:** Andreas Hoischen

### LE IMPRESE

#### ITALIANA COSTRUZIONI

Fondata nel 1975 da Claudio Navarra è guidata oggi dai figli Attilio e Luca, i quali hanno dato continuità a una «ultra centenaria» tradizione imprenditoriale di famiglia nel settore delle costruzioni. L'impresa opera secondo le norme Iso 9001:2000 e ha ottenuto nel tempo la qualificazione per l'esecuzione di lavori pubblici con iscrizioni di grande entità. A Milano vengono coordinate le attività produttive del Nord Italia. Da un lato si rivolge ad appalti e operazioni immobiliari di rilievo architettonico e culturale, dall'altro ha allargato i suoi interessi verso nuove attività con il recente ingresso nel campo delle infrastrutture per la realizzazione di un lotto della terza corsia del Grande Raccordo Anulare di Roma e con la gestione e manutenzione di edifici (global service). L'attività dell'impresa riguarda:

- opere pubbliche concernenti edilizia industriale, universitaria, residenziale, opere a carattere militare (caserme, carceri, centri polyvalenti di formazione e addestramento);
- appalti per committenti privati (costruzione di alberghi e centri commerciali);
- edilizia civile in ambito immobiliare;
- restauro monumentale di chiese, edifici vincolati di notevole interesse storico artistico;
- opere infrastrutturali, stradali e di urbanizzazione;
- global service.



Luca e Attilio Navarra

#### SAC SPA

La Società Appalti Costruzioni spa opera da lungo tempo nei settori dell'edilizia civile e delle grandi realizzazioni industriali e infrastrutturali anche di natura militare. Tra i suoi committenti: il Ministero dei Lavori Pubblici, il Ministero della Difesa, il Ministero degli Interni, il Comune di Roma, le Sovrintendenze, l'Università degli Studi di Roma, l'Istituto Superiore della Sanità, il Politecnico di Torino, la Telecom spa, enti religiosi, società e industrie private, banche, assicurazioni, società nel settore militare e società alberghiere. La Sac spa opera inoltre con interventi realizzati in proprio e destinati alla rivendita, mentre è presente come capogruppo in varie Ati, consorzi e società collegate o controllate.

#### LA PROGETTAZIONE

##### ZAHA HADID ARCHITECTS

Zaha Hadid opera una costante sperimentazione nell'ambito dell'architettura, dell'urbanistica e del design, continuando un'esplorazione volta a definire nuovi concetti spaziali. Insignita del Pritzker Prize nel 2004, Zaha Hadid è internazionalmente conosciuta per il suo contributo in campo accademico. Tra le opere più importanti ricordiamo il Phaeno Science Center a Wolfsburg, Germania, che rappresenta appieno il risultato della ricerca di Zaha Hadid verso la definizione di complesse forme di spazio caratterizzate da dinamismo e fluidità. Altre opere come il Rosenthal Center for Contemporary Arts in Cincinnati e il Central Building dello stabilimento Bmw di Lipsia in Germania vengono acclamate come esempi di un'architettura che trasforma l'idea di futuro attraverso inesplosati concetti spaziali e forme visionarie. Al momento, Zaha Hadid si sta occupando di un vasto numero di progetti tra i quali: l'Aquatic Centre per le Olimpiadi di Londra del 2012; le Signature Towers a Dubai; il Performing Arts Centre ad Abu Dhabi; il Teatro dell'Opera a Guangzhou, Cina; residenze private negli Stati Uniti e in Russia; masterplans in Spagna, Istanbul e Medio Oriente. In Italia, Zaha Hadid sta lavorando al progetto CityLife nell'ambito della riqualificazione dell'area della vecchia Fiera di Milano; al Museo di Arte Nauragica e Contemporanea di Cagliari; al nuovo Terminal marittimo del porto di Salerno; alla nuova Stazione Ferroviaria di Napoli-Afragola.



Zaha Hadid

due musei hanno un ingresso comune rappresentato dalla grande hall a tutta altezza che funge da perno centrale del progetto e permette di accedere alle gallerie dedicate alle collezioni permanenti e alle esposizioni temporanee, all'auditorium, ai servizi di accoglienza, alla caffetteria e al bookshop. Esternamente all'edificio è presente un percorso pedonale aperto permanentemente che consente di ripristinare un **collegamento urbano**, interrotto da un secolo dal precedente impianto militare.

### PREESISTENZE E DEMOLIZIONI

L'area di progetto è inserita in un contesto urbano caratterizzato da una forte presenza militare. Tutta l'area nasce agli inizi del ventesimo secolo come impianto industriale della Fiat per poi trasformarsi durante il primo conflitto mondiale in un sito militare come il resto degli insediamenti circostanti. L'area era occupata da capannoni industriali di bassa altezza e alta densità, realizzati con una struttura tufacea e chiusura a shed con capriate metalliche. Il bando di concorso prevedeva la possibilità di demolizione di questi corpi per lasciar spazio ai nuovi elementi. Complessivamente sono stati **demoliti 100.000 metri cubi** di tessuto urbano attraverso l'utilizzo di pinza idraulica montata su henna e allontanati successivamente dal cantiere secondo le normali procedure di smaltimento.

### TERRENO E FONDAZIONI

Una volta completate le operazioni di demolizione, si è passati allo scavo e alla palificazione del terreno. Preliminarmente sono state condotte **analisi geologiche** attraverso sondaggi svolti sia in fase concorsuale che in fase di approntamento del cantiere. Le risultanze delle indagini di tipo perforativo (coerenti con la toponomastica e con la vicinanza all'ansa del Tevere) hanno fornito un quadro stratigrafico-geotecnico omogeneo sull'intera area di sedime del complesso, identificando e caratterizzando una serie di unità geotecniche limo-argillose con inserti sabbiosi di carattere alluvionale presenti fino a profondità complessive di circa 50 metri rispetto al piano campagna originario. Superata tale profondità, si ritrova il tipico orizzonte basale della successione alluvionale olocenica del fiume Tevere che giace direttamente sui depositi del substrato marino pliocenico, costituiti dalle argille grigio-azzurre delle «Marne Vaticane». Questa caratteristica ha comportato la pressoché **assenza d'insediamenti archeologici** in quanto questa zona della città sin da tempi antichi è sempre stata una palude. La falda freatica è stata trovata a una quota relativamente bassa, attorno ai 6 - 8 metri dal piano di campagna. Per la posa dei **pali trivellati** si è applicata la metodologia di scavo attraverso l'**utilizzo di fanghi bentonitici**. Complessivamente sono stati trivellati **257 pali** dal diametro di 800 mm armati longitudinalmente con 12 ferri Ø 22 e staffati con una

## OPERE PROVVISORIE | LA CASSAFORMA PER PARETI

Vario Gt 24 di Peri è una cassaforma per pareti a trave, adattabile alle varie geometrie di progetto e quindi personalizzabile, utilizzando elementi di produzione standard, fornibili anche a noleggio. I parametri che possono essere scelti liberamente, in base alle esigenze statiche e funzionali dello specifico progetto, sono:

- tipo e dimensioni dei pannelli di rivestimento
  - lunghezza e altezza dei moduli
  - disposizione dei tiranti
  - massima pressione del calcestruzzo fresco.
- L'altezza della cassaforma Vario può essere estesa sovrapponendo i moduli tramite il connettore Vario con incrementi di

30 cm, fino a un'altezza standard massima di 8,10 m (altezze superiori sono possibili con l'irrigidimento dei giunti). Per l'operazione non è necessario forare la trave e si sfrutta la struttura reticolare della trave Peri Gt 24, con due connettori e l'attacco rapido con dado a tre alotte. Il collegamento è resistente alla flessione e ha funzione di allineamento.



La pulitura delle casseforme è stata ripetuta prima di ogni getto per evitare qualsiasi tipo d'imperfezione finale. In alcuni casi il pannello è stato impiegato una sola volta per ogni getto.



spirale esterna Ø 12 passo 15 cm e con cerchiature interne Ø 20/200 e 148 pali dal diametro di 1000 mm armati con 16 Ø 22 e staffati con una spirale esterna Ø12 passo 15cm e con cerchiature interne Ø20/200 di lunghezza variabile tra i 36 e i 44 metri per raggiungere lo strato più resistente del terreno. Il calcestruzzo utilizzato ha classe di resistenza Rck 250 e classe di consistenza S5 con classe di esposizione Xc2. Al di sopra di questi, sono state realizzate **platee e travi rovesce** per le zone più fortemente caricate e **solette** in quelle meno caricate. La fase preliminare della realizzazione della fondazione è iniziata con la scapitozzatura della testa dei pali e la definizione del fondo della fondazione mediante getto di magrone. Terminati i getti si è proceduto all'**impermeabilizzazione** applicando una guaina bentonitica, successivamente, con un'incidenza di 350 kg/mc, sono state posate le gabbie d'armatura presenti nella platea che a getto completato ha raggiunto lo spessore di 100 cm. Il calcestruzzo utilizzato ha classe di resistenza Rck 300, classe di consistenza S5 e con classe di esposizione Xc4.

### OPERE DI CONSOLIDAMENTO

L'impronta del museo, inserita all'interno di un lotto densamente edificato, e la sua conformazione planimetrica hanno determinato una stretta vicinanza con gli insediamenti militari della caserma Ciarpaglini. Per garantire la stabilità di questi fabbricati e per non interferire con le fondazioni esistenti è stata

realizzata lungo il perimetro del sito **una paratia continua** costituita da **pali trivellati** accostati di diametro variabile tra il Ø 1000 e il Ø 600 connessi superiormente da una trave di collegamento in c.a di sezione 140 cm per 100 cm armata con 8 Ø 26 sia dalla parte tesa che da quella compressa e staffe Ø 10 passo 25 cm a 4 braccia.

### INTERRATO

Completate le operazioni di scavo, messe in sicurezza le fondazioni degli edifici antistanti e impermeabilizzate le fondazioni, si è proceduto con la realizzazione dei sostegni verticali del piano interrato, destinato a ospitare i locali tecnici e ad accogliere le opere d'arte prima delle esposizioni. Per potervi accedere con i mezzi pesanti, è stata studiata una rampa che degradando scende sino alla quota di meno 6 metri per l'ingresso ai magazzini. Questa rampa, prevista in parte rivolta verso lo spazio aperto, è stata realizzata con la stessa formula di mix design del calcestruzzo qui «sperimentata» e impiegata successivamente per la realizzazione dell'effetto finale di «faccia a vista».

### STRUTTURA

All'interno delle **pareti in calcestruzzo armato**, lunghe oltre 100 metri e con una doppia inclinazione sui tre assi, è stata inserita armatura (realizzata con acciaio FeB44k) con un'incidenza di circa 300 kg/mq e con l'aggiunta in punti specifici **maggiormente sollecitati** di profili metallici Heb

di piccole dimensioni di irrigidimento. **L'edificio, che si presenta all'esterno come una serie di vettori che si intersecano tra loro, è composto essenzialmente da due sezioni: la prima di tipo scatolare** confinata negli ambienti bassi, **la seconda con geometria a «U»** che attraversando la prima realizza la parte superiore del museo. Quest'ultima sezione è chiusa in sommità da **travi in acciaio** che irrigidiscono le pareti laterali, ne contrastano le spinte e fungono d'appoggio per le lamelle che scandiscono la copertura vetrata. Le travi trasversali, che poggiano sui muri perimetrali delle gallerie, sono costituite da profilati in acciaio di diverse dimensioni: Hem 900 nella maggior parte dei casi, Meh 900 rinforzati nelle zone curve e Hem 600. I profilati sono stati inscatolati con lamierini in alluminio a ricoprimento della vernice ignifuga necessaria per la **protezione al fuoco**. Le travi trasversali, oltre a portare le lamelle prefabbricate, fungono da linea di compluvio delle acque piovane: il canalino di gronda è infatti alloggiato a fianco e parallelo alle travi stesse. **Le pareti** sia della sezione a «U» che di quella scatolare sono di spessore pari a 30-40 cm con lunghezza di 80-100 metri e sono realizzate in calcestruzzo 3-SC attraverso un'**apposita miscela** studiata in cantiere e dei risultati visibili su sei prove realizzate per saggiarne gli effetti visivi post-disarmo. La disposizione dei vincoli strutturali – non a maglia regolare, ma con punte di 50 metri da un appoggio all'altro – ha rappresentato una sfida per i vari attori

## MATERIALI

### IL CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE E AUTOCOMPRIENTE

Per la realizzazione delle strutture del museo Maxxi di Roma è stata impiegata la nuova miscela di calcestruzzo Calcestruzzo 3 - Sc, messa a punto da Calcestruzzi Spa. Nella formulazione della miscela è stato necessario l'impiego di un additivo superfluidificante combinato con un viscosizzante e filler calcareo, per produrre un calcestruzzo auto-compattante e privo di qualsiasi segregazione, in grado di andare a colmare lo spazio geometrico delimitato dalle cassetture e occupato in buona parte dalla presenza massiccia delle armature di progetto.

Le questioni affrontate nel confezionamento della miscela sono riconducibili essenzialmente a due tematiche: la prima di natura estetica, la seconda di carattere gestionale, richiesta in fase di disarmo.

Per poter ottenere una superficie che sembrasse più monolitica possibile si è sperimentata l'eliminazione dei giunti di contrazione grazie all'utilizzo un agente espansivo in grado di far generare alla miscela una sorta di autocompressione che andasse a contrastare quella generata dalle armature metalliche.

La gestione di un calcestruzzo così composto, da un lato auto-compattante, dall'altro auto-compriente ha richiesto l'inserimento di un additivo con capacità

di rendere la miscela espansiva anche in quei periodi dell'anno in cui non vi è un determinato gradiente d'umidità. Ulteriore step tecnologico è avvenuto grazie all'introduzione di un additivo che portasse il calcestruzzo gettato a potersi «gestire autonomamente» le fasi di stagionatura, anche quando il clima iniziava a virare verso il secco. Questi tre additivi - Self Compacting, Self Compressing, e Self Curing - hanno fatto sì che venisse denominato 3-SC.

Infine, altri piccoli accorgimenti sono stati introdotti nella miscela finale, come quello di avere calibrato il rapporto acqua/cemento al valore di 0,46, ciò per permettere di contrastare al massimo l'effetto di corrosione promosso dalla carbonatazione superficiale, il valore di Rck derivante da questa scelta si è attestato sulla classe di 40 Mpa. Lo sviluppo di calore che la miscela aveva durante la fase d'idratazione del cemento e che avrebbe potuto generare fastidiose fessurazioni nel risultato finale è stato controllato grazie al dosaggio di cemento pozzolanico (tipo Cem IV/A 42,5 N) nel quale il cemento Portland è stato sostituito da circa il 25% di pozzolana naturale; ciò ha permesso un abbattimento considerevole del calore d'idratazione.

coinvolti. La maggior difficoltà era quella di poter ridurre l'elevata iperstaticità ed è stata in parte ovviata introducendo **alcuni giunti di dilatazione** che potessero scaricare gli effetti generati dagli sbalzi termici. Il comportamento sismico, soprattutto a fronte delle nuove normative, è stato oggetto di lunghi studi. Per poterne garantire una rispondenza a un grado di sisma si è cercato di mantenere la continuità strutturale sotto l'effetto di azioni dinamiche rendendo i giunti rigidi, impedendo di fatto gli spostamenti relativi tramite l'inserimento di «**shock transmitters**».

#### ORIZZONTAMENTI

Gli orizzontamenti sono stati realizzati, per la maggior parte dei casi, attraverso l'utilizzo di **travi a T prefabbricate** di altezza variabile tra i 60 cm e i 90 cm con lunghezza media di 12 m incastrate alle pareti verticali attraverso un'imponente armatura di ripresa. Tali travi sono accostate con passo tipico di 120 cm e **integrate da un getto di conglomerato**. Alcune zone sono state realizzate attraverso **solette piene e alleggerite** di spessore variabile tra 60 e 100 cm. L'incidenza media di armatura dei solai è di 400 kg/mc.

#### COPERTURA IN ACCIAIO E VETRO

La copertura vetrata delle gallerie è di **tipo trasparente** percorsa da **travi in acciaio rivestite da un guscio in calcestruzzo fibrorinforzato prefabbricato** con andamento longitudinale parallelo ai muri perimetrali. **Le travi rettilinee e curvilinee suddividono il campo della copertura vetrata in sezioni** ben definite da 1,2 - 1,4 metri e sono agganciate a travi metalliche con un passo irregolare che raggiunge il suo valore massimo in circa 12,60 metri fornendo un punto di rinforzo. Il rinforzo è costituito da **travi radiali** che lavorando in flessione riducono la lunghezza non controventata in curva. **Le travi longitudinali**, di circa 1,5 m di altezza, sono reticolari, con correnti inferiore e superiore in acciaio Fe510, collegati da un profilo Hea 260. La trave reticolare indirizza alle fondazioni i carichi della copertura e i carichi puntuali generati dalle opere d'arte ad essa sospese. L'andamento sinuoso delle diverse sale espositive è dunque scandito da «**lamelle**» di grandi dimensioni, **sospese alla copertura vetrata e concepite per sostenere le opere d'arte a esse appese**. Il rivestimento di queste travature è **costituito da due semigusci in Grc** di spessore minimo di 12 mm, rinforzati con nervature verticali passo 120 cm e 2 trasversali, sempre in Grc, di sezione tubolare quadrata, di lato 50 mm e spessore 10 mm. La scelta del materiale per la realizzazione di questo dettaglio è stata dettata da alcune esigenze specifiche. Anche le lamelle erano previste in calcestruzzo a vista come il resto delle parti opache dell'opera e in contrapposizione con la copertura vetrata. Tuttavia all'interno delle lamelle andavano **alloggiati mecc-**



All'interno del cantiere era presente una centrale di betonaggio. Prima della scelta della miscela il calcestruzzo sono stati realizzati vari setti a campionatura. Sono state verificate anche due ipotesi di giunti: la prima con manti tagliati in fasce orizzontali e la seconda poi adottata, con una sequenza di giunti verticali.



canismi e centraline dei sistemi di oscuramento automatici. Un'esigenza altrettanto importante era quella di **contenere il peso degli elementi per non caricare eccessivamente la struttura portante** in acciaio. Di qui la scelta di realizzare travature metalliche reticolari rivestite da gusci in grc. Il **materiale di rivestimento doveva essere di tipo cementizio e adatto all'impiego faccia a vista**, con una resa il più possibile vicina a quella del calcestruzzo utilizzato per i getti dei muri e delle pareti portanti. In secondo luogo la geometria degli elementi, alcuni ad andamento curvilineo o elicoidale, con cambi di pendenza e doppie curvature, rendeva necessario l'utilizzo di un **materiale plasmabile**. Per rispettare gli ingombri previsti dal progetto architettonico era necessario **mantenere gli spessori del rivestimento delle lamelle entro limiti molto ristretti** (fino a 15 mm). La **valenza strutturale del Grc (Glass Reinforced Concrete), calcestruzzo armato con fibre di vetro Ar (alcali resistenti)** in quantità maggiore del 4% in peso, ha permesso la realizzazione di questi elementi, particolarmente impegnativi sia sul piano estetico che su quello delle sollecitazioni, nel pieno rispetto dell'idea progettuale. La **matrice a base cementizia e l'armatura omogenea di fibre di vetro**, applicata con tecnologia spray su di una pelle dallo spessore molto contenuto, determinano le principali caratteristiche di questo innovativo materiale: **riciclabilità; resistenza agli urti; durabilità e resistenza dovute alla matrice cementizia; resistenza al fuoco; leggerezza** (circa 30-40 Kg/mq); **plasmabilità delle forme**. Il **pacchetto vetrato delle coperture**, a sua volta, è un sistema complesso ad alta tecnologia composto da una doppia vetratura superiore, a contatto con l'esterno, e un'ulteriore vetratura inferiore, per la creazione di un plenum di ripresa dell'aria calda generata dagli ambienti museali. Il sistema fornisce l'isolamento dall'ambiente esterno della parte sommitale delle gallerie, che rappresenta la maggior parte del carico di riscaldamento e raffreddamento.

#### COLLEGAMENTI VERTICALI

Tutte le scale e le rampe vengono sorrette dalle pareti laterali o dalle fasce piene di solaio in corrispondenza dei collegamenti. Le scale **in cemento armato**, essendo quasi sempre interne ai nuclei in cemento armato, sono state progettate prevalentemente come solette rampanti con gradini portanti. Le **rampe metalliche** sono realizzate con profilati prevalentemente tipo I vincolati alle pareti in cemento armato mediante incastrici (flange saldate di testa), cerniere (bullonature d'anima) o appoggi. Nelle zone in cui i setti in cemento armato presentano dei giunti di dilatazione, le rampe metalliche sono state rese strutturalmente indipendenti mediante la realizzazione di giunzioni in grado di trasmettere le sole azioni taglianti, garantendo la piena libertà di scorrimento in direzione assiale.



**CONSOLIDAMENTO.**  
Fase di approntamento della trave di bordo congiungente le teste delle paratie di consolidamento del terreno infisse a confine con gli altri edifici. La prossimità con il tessuto edilizio esistente è ancora più evidente nelle fasi successive di costruzione.



**FONDAZIONI.**  
Impronta del sistema fondazioni del museo.



1



2



3

**STRUTTURA.**

1) Primi getti che fuoriescono dal piano di campagna. In particolare si intravede che fin da subito le superfici del calcestruzzo dovevano essere perfettamente lisce.  
 2) Fasi di approntamento di più piani. Mentre da una parte si stanno completando le operazioni per la formazione dell'impronta delle fondazioni, dall'altra si incomincia ad armare i primi orizzontamenti.  
 3) Fase di avanzamento della cantierizzazione con la chiusura della sezione scatolare dell'edificio e l'inizio dell'approntamento della sezione a U soprastante.

**CASSEFORME**

Per soddisfare le prescrizioni delle specifiche tecniche di costruzione riguardanti la finitura superficiale del calcestruzzo a vista e ottenere un risultato di perfezione assoluta si è dovuto procedere con un **complesso sistema di opere di banchinaggio e di casseforme**. Le pareti curvilinee del Maxxi sono state realizzate con il sistema a travi Vario Gt 24 (Peri). Per contrastare le spinte idrostatiche del calcestruzzo, rispettare le prescrizioni sulla deformabilità delle casseforme e per ottenere una superficie a vista liscia si sono dovuti inserire un elevato numero di **tiranti**. I pannelli a **contatto con il calcestruzzo** (pannelli Fin Ply Maxi con dimensioni fino a 2.700 x 7.500 mm, costituiti da un multistrato di betulla finlandese di vario spessore, rivestiti da un fenolico avente un peso di 400 gr/mq) sono stati sagomati a misura e utilizzati nella maggior parte dei casi una sola volta. Per realizzare le superfici curvilinee delle pareti è stato sviluppato un **modello Cad tridimensionale del museo, allestendo le casseforme centinate e sagomate direttamente in stabilimento**. Prima di ogni getto di calcestruzzo si è proceduto alla pulitura mediante idrogetto, per rimuovere qualsiasi tipo di impurità, derivante dal trasporto, o dallo stoccaggio o dal montaggio. Dopo il lavaggio con acqua e alcol si è passati alla fase di stuccatura delle teste dei chiodi con i quali il manto era fissato alla sottostruttura. L'attrezzatura ha consentito di realizzare un unico getto anche per pareti con un'altezza superiore ai 14 m, sostenendo in sicurezza le pressioni (sino a 150 kn/mq) durante il getto del calcestruzzo autocompattante Scc. L'inserimento dei tiranti nella cassaforma è avvenuto attraverso un tubo in pvc che è rimasto inglobato all'interno del getto. I fori lasciati dai tiranti sono stati chiusi con tappi in fibra di cemento realizzati con lo stesso colore del calcestruzzo.

**SUPERFICI**

A lavori ultimati è stato previsto un intervento di **finitura generale sulle superfici in calcestruzzo autocompattante**. Le operazioni realizzate sono state una pulitura mediante impacchi con solventi, il ripristino dei pochi punti della superficie che presentavano disomogeneità e infine un trattamento con resine impermeabilizzanti, necessario alla protezione della struttura dagli agenti atmosferici. La pavimentazione interna oltre 10.000 mq di superficie complessiva e continua, è stata realizzata attraverso la stesura di Cementoresina (Kerakoll), composta per un terzo da resine (Epoxy - Pu) e per due terzi da minerali naturali costituiti prevalentemente da cemento, fino di marmo e pigmenti ecocompatibili.

**MONITORAGGIO**

Durante tutte le fasi di cantierizzazione dell'opera sono stati effettuati periodici monitoraggi sia per

## ORIZZONTAMENTI | LASTRE SU MISURA



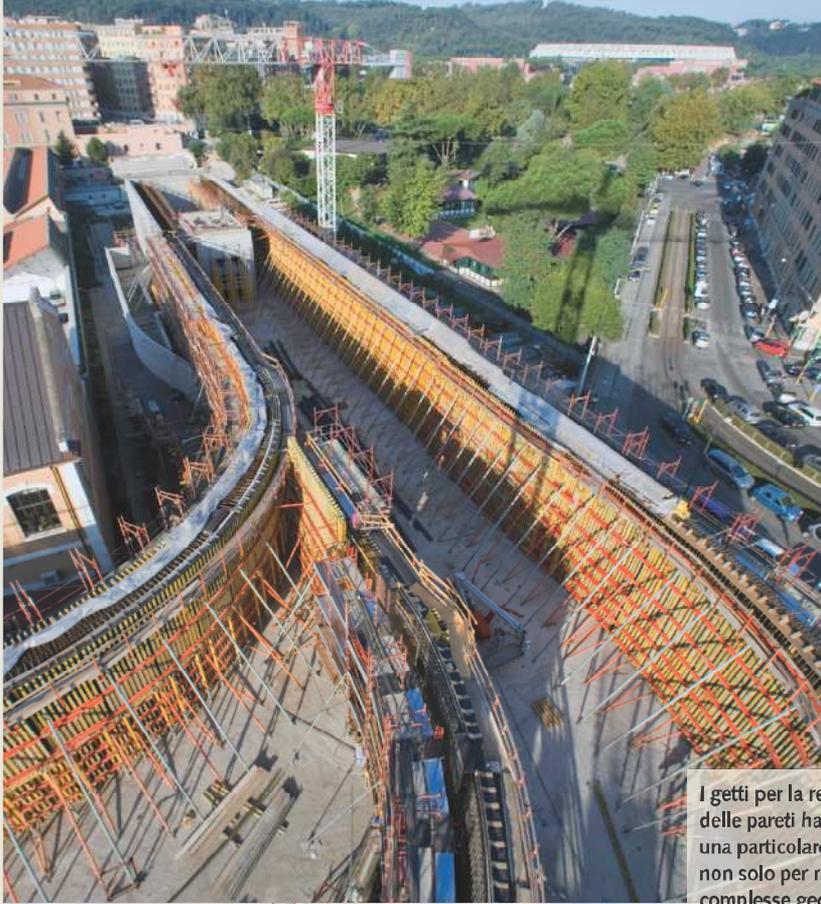
Banchinaggio dei solai del museo. Ogni lastra impiegata è stata progettata a misura.

verificare il **corretto posizionamento delle strutture**, ma soprattutto per verificarne il loro **comportamento durante i primi momenti del loro ciclo di vita utile**. Un tipo di monitoraggio a livello generale è stato condotto per verificare e controllare nel tempo **le caratteristiche e le proprietà fisico-meccaniche degli elementi strutturali**. L'esame dei dati nel tempo forniti dai sensori e dagli strumenti (con i quali sono state registrate temperature, deformazioni, inclinazioni...) ha permesso di analizzare costantemente il **getto con-**

sentendo di ottenere un'enorme banca dati e un'utilissima sperimentazione sul campo. Ulteriori monitoraggi sono stati condotti su vari elementi strutturali, come ad esempio i pilastri misti acciaio calcestruzzo, con lo scopo di determinare **le sollecitazioni durante tutte le diverse fasi costruttive** (getto dei solai e dei setti superiori, eliminazione del banchinaggio...) **ma soprattutto la taratura controllata del carico trasmesso a ogni singolo pilastro**. Il sistema impiegato è costituito da **24 martinetti idraulici** disposti al di sotto di

un sistema integrato fondazionale in acciaio appositamente progettato e realizzato sul quale poggiano direttamente i pilastri oggetto del controllo. Ogni martinetto idraulico è stato dotato di un manometro analogico che ha permesso la misurazione in tempo reale della pressione di esercizio. I martinetti sono stati altresì dotati di una ghiera di serraggio di sicurezza al fine di non permettere cedimenti improvvisi. Il valore finale o complessivo del carico su ci pilastri, registrato dai martinetti è stato pari a 12048 Kn. ●

## SETTI | SFIDA STRUTTURALE ED ESTETICA



I getti per la realizzazione delle pareti hanno richiesto una particolare attenzione non solo per rispettare le complesse geometrie di progetto, ma soprattutto per avere un risultato finale monolitico. La scasseratura dei setti evidenzia la perfetta monoliticità del getto.





Approntamento delle pannellature per i getti dei setti sino alla quota espressa dal progetto. Si nota la particolare difficoltà di poter puntellare tali pannellature, dato lo spazio minimo a disposizione.



Realizzazione dei volumi a sbalzo. È stato studiato un sistema di controventature apposite per reggere non solo le azioni di spinta del calcestruzzo ma consentire il getto inclinato.

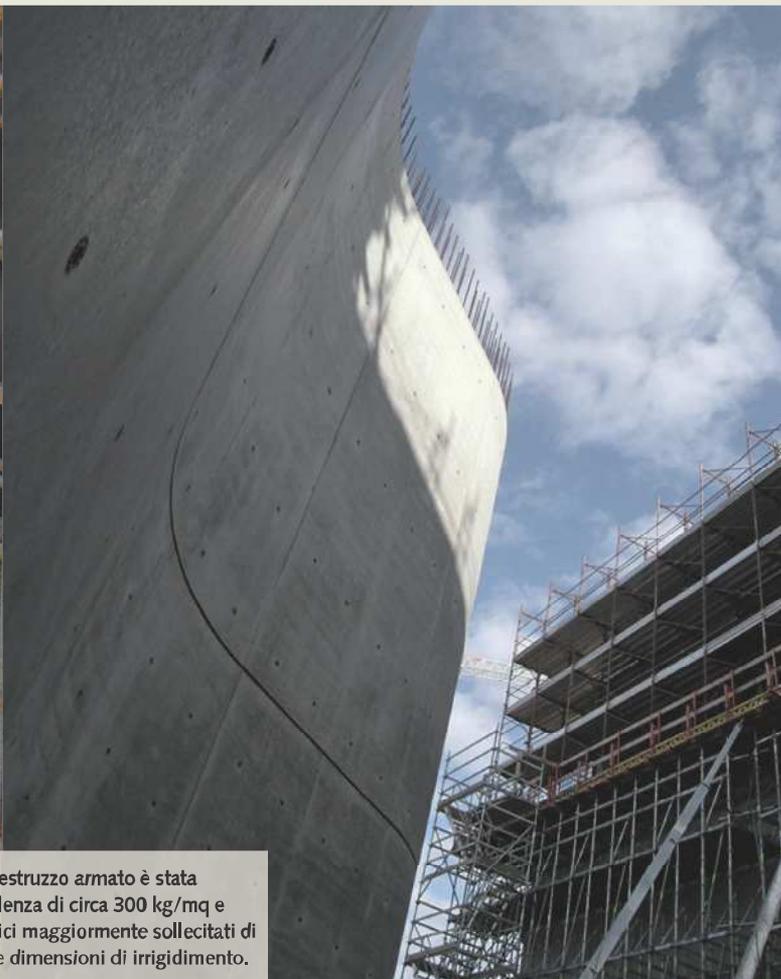


Si nota la fittitudine delle travi di sostegno delle casseforme e del sistema di puntellazione.





All'interno delle pareti in calcestruzzo armato è stata inserita armatura con un'incidenza di circa 300 kg/mq e con l'aggiunta in punti specifici maggiormente sollecitati di profili metallici Heb di piccole dimensioni di irrigidimento.



Particolare dei martinetti idraulici per contenere gli effetti del sisma.



Pilastri metallici di sostegno della passerella aerea al di sopra dell'ingresso principale.

## COPERTURA | IN ACCIAIO E VETRO



Posizionamento in quota delle travi metalliche di irrigidimento della sezione a U della parte alta del museo.



Le travi reticolari sono composte da correnti inferiore e superiore in acciaio Fe510 collegati da un profilo Hea 260. La trave reticolare indirizza alle fondazioni i carichi della copertura e i carichi puntuali generati dalle opere d'arte che vengono appese a essa.



Pacchetto quasi completo di copertura, composto partendo dal basso dalle travi ricoperte dai gusci in calcestruzzo fibrorinforzato, dai pannelli frangisole, dal grigliato di camminamento. È ancora da posizionare il vetro antisfondamento.



Le travature metalliche con i due semigusci in Grc a rivestimento, che conferiscono l'aspetto cementizio previsto da progetto, al cui interno sono alloggiati tutti i meccanismi di movimento delle lamelle frangisole.



Vista globale della copertura degli spazi museali. Le travi d'irrigidimento sono state mascherate da un cassettoni metallico. Il pacchetto vetrato delle coperture risulta composto da una doppia vetratura superiore esterna e una inferiore, creando di un plenum di ripresa dell'aria calda generata dagli ambienti museali. Il sistema fornisce l'isolamento dall'ambiente esterno della parte sommitale delle gallerie.

## INTERNI | FINITURE MONOLITICHE



La complessità delle forme realizzate con pareti curvilinee e arditi intrecci in quota di spazi è compensata dalla semplicità delle superfici a finiture monolitiche, grigio e bianco, con i collegamenti verticali neri. Gli interni dei setti in cemento armato rimangono faccia a vista e in cemento sono anche le superfici orizzontali (finiture dei pavimenti in cementoresina), le lame di copertura (interamente rivestite in cemento fibrorinforzato) e gran parte delle altre superfici fino anche agli arredi. Non tutte le pareti sono tuttavia in calcestruzzo, infatti l'interno delle gallerie espositive è dotato di una controparete sospesa (distaccata dal pavimento e dal setto esterno) con duplice funzione di cavedio impiantistico e supporto espositivo.

## ESTERNI | SPERIMENTAZIONE COSTRUTTIVA

