

Application of Ultra High-Performance Concrete – UHPC in Public Art and Urban Furniture

Applicazione dei Calcestruzzi ad Altissime Prestazioni – UHPC nell'Arte Pubblica e nell'Arredo Urbano

R. Maspoli¹

¹ *Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino, Turin, Italy*

ABSTRACT: Reducing the maintenance cycles and their cost, by increasing the durability, is a must in public-art and urban-furniture works, as clearly shown by the first Italian applications in public art (a circular slab with a human profile on it, three faces in high relief and a bench of a sculptural structure), where Ultra High-Performance Concrete – UHPC were used without metallic reinforcement. The first task was to define a methodology for quality planning, from the sketch of the work - and the construction of the 3D negative moulds (something that requires innovative techniques), to UHPC mix-design and casting - considering the environmental conditions - and to the placement of the work in its final location. The partnership with one of the major Italian cement producers (Buzzi Unicem, Casale Monferrato) and the use of some special products (“Nanodur” and “Flowstone”) were instrumental in guaranteeing the success of the work. The negative moulds were machined using a medium-density polyurethane resin. The various parts were assembled and put in place in June – July 2015, and a two-year plan was devised, to monitor the behavior of the work exposed to the weather. This first application of UHPC in public art was carried out within the Urban Community Program “Barriera” of the City of Turin for the Spina 4 – Peccei Park. / *Ridurre i cicli di manutenzione e il loro costo, aumentando la durata nel tempo, è una necessità per le opere di arte pubblica e arredo urbano, come chiaramente dimostrato dalla prima applicazione italiana di arte pubblica (una lastra circolare con un profilo umano su di esso, tre volti ad alto rilievo ed una panchina di una struttura scultorea), dove i Calcestruzzi ad Altissima Resistenza - UHPC sono stati utilizzati senza rinforzo metallico. Il primo compito è stato quello di definire una metodologia per la pianificazione della qualità, dal bozzetto del lavoro alla costruzione degli stampi negativi 3D (che richiede tecniche innovative), alla composizione della miscela UHPC e al getto - considerando le condizioni ambientali - e al posizionamento dei lavori nella loro localizzazione finale. La collaborazione con uno dei maggiori produttori italiani di cemento (Buzzi Unicem, Casale Monferrato) e l'uso di prodotti speciali (“Nanodur” e “Flowstone”) sono stati determinanti nel garantire il successo del lavoro. Le matrici fresate sono state eseguite in resina poliuretanic a media densità. I diversi elementi sono stati posti in opera nel giugno – luglio 2015 e sono oggetto di un piano di monitoraggio biennale, per valutarne il comportamento in esposizione nel tempo. La prima applicazione di UHPC si è svolta nell'ambito del programma comunitario Urban “Barriera” della Città di Torino, per il Parco Spina 4 - Peccei.*

KEYWORDS: UHPC, public art, urban furniture, project engineering, reliability, UHPC / arte pubblica, arredo urbano, ingegnerizzazione del progetto, affidabilità, cemento ad altissime prestazioni

1. INTRODUZIONE

Lo studio affronta il problema della selezione delle tecniche costruttive e dei materiali a base cementizia in funzione di affidabilità e manutenibilità, per le opere di arte pubblica.

Condizioni climatiche, luce ultravioletta, variazioni di umidità e temperatura, inquinamento atmosferico e rischio per l'azione umana e gli atti vandalici, sono i principali problemi della conservazione dell'arte pubblica.

Nel caso di opere cosiddette non monumentali e diffuse in esterno, i problemi di degrado sono parti-

colarmente rilevanti a causa delle limitate disponibilità economiche di città ed enti gestori.

1.1 Il caso di studio

La ricerca ha come riferimento un caso di studio operativo, il programma "Promenade dell'arte e cultura industriale", sviluppato in convenzione con la Città di Torino, attraverso i fondi comunitari POR -FESR 2007-2013 (2012-15).

Dal piano generale alla selezione su concorso dei progetti, allo sviluppo costruttivo delle opere di arte pubblica per il Parco Spina 4 – Peccei di Torino, sono state sviluppate le fasi:

- analisi delle condizioni di appalto e gara pubblica per opere particolari d'arte e arredo urbano;
- individuazione delle criticità del processo nella scelta dei materiali e nell'affidabilità delle opere;
- selezione delle migliori tecniche disponibili (best available techniques - BAT);
- stesura dei documenti contrattuali;
- sviluppo delle idee progettuali fino al progetto cantierabile;
- monitoraggio delle condizioni e dei risultati prestazionali nella prima fase di esercizio (giugno 2015 – giugno 2016).

2 I MATERIALI AVANZATI NELLE OPERE D'ARTE CONTEMPORANEE

In relazione al caso di studio si sono analizzate le problematiche di esecuzione, manutenzione e gestione dell'opera. L'obiettivo è stato di selezionare con i giovani artisti materiali e tecniche alternative, atte a limitare interventi periodici e a permettere una elevata durata in opera, in coerenza alla domanda espressiva ed estetica degli autori.

2.1 La plastica fibrorinforzata (GRP)

Dal XX secolo, le opere d'arte hanno sperimentato processi costruttivi e nuovi materiali industriali, a partire dal calcestruzzo all'alluminio, all'acciaio e alle resine sintetiche rinforzate.

Artisti come Jean Dubuffet, Niki de Saint Phalle, Claes Oldenburg, Arnaldo Pomodoro, Atelier Van Lieshout hanno utilizzato resine poliestere (GRP) ed anche cementi colorati, per le sculture all'aperto. I nuovi materiali composti permettono risultati innovativi in termini di compattezza e levigatezza delle superfici, come di saturazione e luminosità colorica.

La realizzazione avviene in fibra di vetro e strati di resina poliestere su un quadro di rete metallica o su strutture in legno, con successiva applicazione di differenti tipi di pittura. Le forme negative sono realizzate in gesso o in polistirene espanso (EPS), con applicazione di strati protettivi in resina, per effettuare poi la colatura e l'assemblaggio su telai di supporto.

I recenti studi di centri per la conservazione – come il *Getty Conservation Institute* (Beerens e Breder, 2012) - hanno evidenziato la difficoltà di predire il comportamento in situ in relazione alla compatibilità fra componenti e tecniche esecutive, oltre che per le condizioni di esposizione ambientale.

La conservazione all'aperto dipende da regolare controllo, pulizia superficiale e applicazione di rivestimenti protettivi attraverso cicli ravvicinati, indicativamente biennali. Il deterioramento progressivo dei compositi - in particolare in GRP - si manifesta dal

micro al macro livello: scolorimento (causato dalla luce solare in combinazione con la pioggia), delaminazione, disconnessione, formazione di crepe profonde e danni meccanici anche da eventi umani accidentali, che riducono la resistenza meccanica. Tali criticità hanno indirizzato alla sperimentazioni di altri materiali, con caratteri affini e tendenzialmente di migliore durata.

2.2 Il conglomerato cementizio

Riguardo agli elementi in conglomerato cementizio portanti, sono storicamente presenti dal XIX secolo, in relazione alla tradizione decorativa della pietra-cemento. Fra i primi casi in conglomerato armato è il gruppo di 32 sculture "Dinosauri" del Crystal Palace Park di Londra (1852-1854), dello scultore B. Waterhouse Hawkins. Le opere complesse - eseguite con struttura piena in cemento armato o portante in ferro (per elementi eterogenei) e ricopertura con camicia di malta armata, hanno richiesto interventi sempre più ravvicinati. Lo studio di fattibilità (1995-2000) ha evidenziato sia carenze manutentive sia riparazione improprie (altre malte cementizie, plastilina, resina, fibra di vetro). Il restauro (2003) ha comportato interventi sulle fondazioni, interventi strutturali sulle crepe presenti nelle opere superstiti e ricostruzione delle sculture mancanti in fibra di vetro. In relazione alla più breve service life prevista, sono stati mantenuti gli stampi per una futura ricolatura.

Dopo un decennio (2014), la diagnosi ha delineato l'urgenza di intervento a causa delle fessurazioni nelle parti più esposte in elevato. È stata eseguita una prima fase (2016) – documentata da *Friends of Crystal Palace Dinosaurs* e *English Heritage* - di riparazione del cracking e ricostruzione localizzata del conglomerato cementizio, dopo la pulizia con rimozione di infestanti vegetali, getto di acqua a pressione, rimozione di vernice danneggiata e ripristino complessivo dei trattamenti superficiali.

Riguardo al contemporaneo, un caso specifico sono le opere di Niki de Saint Phalle. Nel caso del "Giardino dei Tarocchi" di Capalbio (1979-97) si sono avuti differenti fenomeni di alterazione superficiale del rivestimento composito, quali desquamazione, abrasione, efflorescenze saline, distacco delle tessere, ossidazione. I degradi profondi hanno richiesto il rinforzo di alcune articolazioni della struttura interna, i degradi superficiali sono stati affrontati (Vella ed altri, 2015) con un trattamento protettivo innovativo che comporta l'applicazione di un sottile film di silice, dopo aver analizzato la compatibilità chimica con il materiale da trattare. Il metodo sol-gel permette di costituire film di pochi centinaia di nanometri, com-

pletamente inorganici, trasparenti ed incolori. Il trattamento è riapplicabile con manutenzione in situ a temperatura ambiente, senza richiedere rimozioni.

I trattamenti cosiddetti nanotecnologici possono costituire una valida alternativa ai procedimenti sulla superficie con polimeri organici e resine o con bi-componenti a base cementizia. La filosofia è della tendenziale reversibilità, conservando tracce dello stato di naturale deterioramento, ma rimuovendo invece condizioni di alterazione, per agenti degradativi naturali come antropici, che possono determinare gravi patologie e perdite.

Altro caso significativo, in relazione alla durabilità del conglomerato cementizio armato, è l'opera "Finestra sul mare" (1989) di Tano Festa, sulla spiaggia di Reitano, nell'ambito del parco "Fiumara d'arte". Il degrado sia del conglomerato che dell'armatura in ferro ha determinato rilevanti fessurazioni, oltre al decadimento del rivestimento superficiale. La diagnosi e il restauro strutturale (2015) devono permettere di risolvere la presenza diffusa di crepe e fessurazioni e di restituire le caratteristiche estetiche e comunicative. L'intervento (Rava, 2015) è avvenuto con il rinforzo in fibra di vetro su base di microemulsioni acriliche, con applicazione di protettivo idrorepellente traspirante e coloritura omogenea. Sono da monitorare le condizioni di conservazione in ambiente altamente esposto agli inquinanti aerei.

Un caso emblematico di degrado diffuso, coerente all'assenza prolungata di pulitura e manutenzione ordinaria, è inoltre costituito dal "Grande Cretto" di Alberto Burri a Gibellina (1986-89), memoria - sudario della distruzione del terremoto. La struttura è costruita sulla base delle macerie edilizie, compatte in isole connesse da reti metalliche, delimitate da muri alti fino a 2,00 m e coperte da lastre gettate in calcestruzzo armato. La scabrosità delle superfici grezze e l'irregolare spessore hanno favorito l'insediamento incontrollato di organismi vegetali e lo sviluppo di fessurazioni, acute dai cedimenti localizzati per le variazioni dello stato idrogeologico. Le patologie principali hanno riguardato la corrosione delle armature - con insufficiente copriferro - e l'attacco biologico e di infestanti al cemento, favoriti dall'azione degli agenti atmosferici. Il "Cantiere della Conoscenza" dell'Università di Palermo (2006-15) ha evidenziato la difficoltà di definire protocolli operativi per la pluralità delle cause di degradazione e per la diversità prestazionale delle parti dell'opera. Sono stati testati diversi biocidi e sistemi di pulitura - micro sabbatura, sabbatura criogenica, lattice - per verificarne il comportamento nel tempo e il rischio di abrasione. Nella riparazione delle lesioni, la scelta del metodo è signi-

ficativamente influenzata dalla non invasività, da cui la scelta di calcestruzzo analogo all'originario per grana e coloritura, e la protezione dei ferri con malta bi-componente ad inibizione di corrosione.

2.3 Linee guida per opere d'arte pubblica a base cementizia

In relazione alla letteratura analizzata, si è definito un protocollo di prevenzione del degrado delle opere d'arte in esterno, individuando i fattori utili per le scelte tecnologiche nel Parco Spina 4:

- qualità del conglomerato e del legante;
- sufficiente strato del copriferro;
- limitazione di elevati aggetti, controllo e sicurezza delle prestazioni meccaniche;
- limitazione di sottosquadri, in funzione di difficoltà di getto e esigenze di pulizia periodica;
- compattezza della granulometria superficiale;
- eventuale adozione di protettivi non pellicolanti, antigraffito e per la riduzione degli inquinanti atmosferici (trattamenti fotocatalitici);
- sistemi di fissaggio metallico anticorrosione e antiefrazione, non a vista;
- esclusione nelle finiture superficiali di aggrappaggi chimici e incollaggi insufficienti;
- preferenza a trattamenti di coloritura in pasta, nel conglomerato.

Le finiture a colore emergono come fattori primari di alterazioni, le tecniche di pigmentazione in pasta permettono di garantire una vita utile più elevata, con eventuali effetti di lieve scolorimento a causa di agenti atmosferici o per contatto con terreno ed elementi organici. La formazione di patine è accettabile dal punto di vista estetico, più che sfogliature e delaminazioni che caratterizzano, invece, componenti a base di resine. Nel caso di superfici a grana fine, l'effetto di dilavamento dello sporco può essere potenziato da trattamenti nanotecnologici.

La formulazione del ricoprimento superficiale (coating) in funzione delle condizioni ambientali permette di associare all'effetto fotocatalitico (TiO₂) per l'abbattimento di composti organici e per la degradazione di ossidi di azoto - con secondariamente impermeabilizzazione e deodorizzazione - anche il contenimento del particolato fine e l'azione antibatterica (ad esempio in presenza di tormaline a ioni negativi e argento).

Nell'ambito del caso studio del Parco di Spina 4, sono stati considerati ricoprimenti alternativi, valutando l'efficacia dell'apporto ambientale in relazione allo sviluppo di superficie delle opere. Sostanzialmente incolori, richiedono trattamenti periodici con cicli minimi biennali, senza interventi più rilevanti al-

meno di scrostatura – preparazione – ripristino cromatico.

In ambito normativo - ISO-TC 206/WG 37 - è in corso lo sviluppo di “Test method for photocatalytic materials” (ISO22197-1/5). Fine Ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics)”, che dovranno permettere di avere standard confrontabili degli effetti ambientali nelle applicazioni su cementi.

E' inoltre necessario sviluppare un protocollo di controllo - iniziale e periodico - dei fattori ambientali: geotecnici-fondazionali, micro-climatici, soleggiamento, inquinanti dell'aria (industriali, marini).

3. LE PROBLEMATICHE DI AFFIDABILITÀ E MANUTENZIONE

Le criticità della conservazione dell'arte pubblica contemporanea mettono in rilievo il ruolo del sistema informativo - dalla fase di prefattibilità alla gestione manutentiva - per la valutazione delle scelte tecnologiche, per il controllo della qualità e dei costi nel ciclo di vita utile.

Molte amministrazioni locali, come la Città di Torino, nel caso di donazione di opere d'arte richiedono che le attività di mantenimento siano garantite per dieci anni a cura e spese del proponente, e che le esecuzioni rispondano alle prescrizioni dello “Schema di Contratto per la Manutenzione e Gestione”. Le caratteristiche tecniche riguardano: specifiche dei materiali, tecniche di realizzazione, specifiche di allestimento, stima dei costi di progettazione e realizzazione, piano di manutenzione, stima dei costi di gestione - manutenzione, responsabilità gestionale.

Per l'esistente e i nuovi interventi, il primo livello di sistema informativo è costituito dalle schedature di censimento e patrimoniali, come quelle elaborate dall'istituto dei Beni Culturali dell'Emilia Romagna, dal Progetto Arte Pubblica e Monumenti (P.A.Pu.M.) della Città di Torino e, a livello nazionale, dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD). In particolare, la Scheda *OAC - Opere di Arte Contemporanea* (2004) è finalizzata alla catalogazione e contiene anche dati tecnici, di conservazione e restauro, ma non presenta contenuti informativi utili alle azioni di manutenzione o prevenzione.

3.1 Il sistema informativo per l'arte pubblica

In relazione al mantenimento delle opere, la struttura del Data Base Management System (DBMS) delineata contiene:

- localizzazione GPS, anagrafica (maintenance oriented);

- dati informativo-conoscitivi estesi, iniziali (caratteri storici, tecnico-prestazionali);
- rilevamento dello stato di conservazione (monitoraggio periodico e/o a distanza con sensori, segnalazioni dei cittadini);
- piano di manutenzione periodicamente aggiornato in relazione a cambiamenti di stato (condizioni, degrado, vandalismi ...) e interventi, indicando priorità e attesa di vita utile;
- reporting degli interventi eseguiti (pulizia, manutenzione periodica, restauro, messa a norma ...);
- prescrizioni tecniche aggiornate per nuove opere e trattamenti conservativi.

Procedure su base sperimentale, per la raccolta dei dati manutentivi e la scelta di materiali e tecnologie esecutive, sono state sviluppate da amministrazioni locali e strutture museali, come il *Cambridge Arts Council* (CAC), il *Smithsonian American Art Museum* e il *Tinguely Museum*.

Il CAC prevede le fasi di gestione del progetto, fabbricazione, installazione, facilities. Il processo di analisi condiviso ha lo scopo di informare tutti i soggetti coinvolti - artisti, produttori, amministratori, curatori, architetti paesaggisti, ingegneri strutturali, scienziati dei materiali - e di stimolare la discussione sugli approcci migliorativi. Attraverso la “Pre-Fabrication Reviews” sono definite specifiche tecniche dei materiali, del processo costruttivo e informazioni per la manutenzione e la vita dell'opera. L' “Art Conservation - Condition Report” riporta invece, in forma sintetica, diagnosi sulle condizioni strutturali e superficiali pre-manutenzione, descrizione delle tipologie di intervento e degli specifici trattamenti, priorità d'intervento e specifiche ed esiti delle operazioni eseguite.

La procedura del CAC è stata presa di riferimento per il caso di studio del Parco Spina 4, considerando la variabilità delle condizioni ambientali e dei caratteri costruttivi, che richiedono l'aggiornamento continuo del DBMS per l'efficacia previsionale.

3.2 La valutazione delle scelte tecnologiche e conservative

Il *Getty Conservation Institute* ha affrontato i problemi della conservazione dei trattamenti superficiali delle opere scultoree in esterno, in relazione a incognite tecnologiche, fattori microclimatici e processi di decadimento accelerato. Il problema della conservazione del patrimonio scultoreo nei parchi è recentemente affrontato anche dall'*International Network for the Conservation of Contemporary Art* (INCCA).

Si evidenzia come le opere d'arte contemporanea richiedano sia conoscenze di tecniche e di materiali in

opera sovente stratificati e di sperimentazione artigianale, sia ricerca nell'ambito delle scienze della conservazione, per sperimentare e prevedere il comportamento di componenti non standardizzati. Emerge, inoltre, l'importanza di acquisire la capacità di penetrare e condividere la poetica dell'artista.

In questa prospettiva, nel caso di studio sono affrontati i problemi durabilistico-manutentivi associati all'esposizione all'aperto, considerando processi compatibili, come l'accettazione dell'invecchiamento naturale.

3.3 Il sistema informativo per la previsione degli agenti di degrado

L'approccio integrato alla conservazione ha, quindi, comportato la messa a punto di una metodologia per l'analisi preventiva e la valutazione del rischio.

Si è considerata e adattata, per gli agenti di deterioramento, la lista di controllo del *Canadian Conservation Institute* (CCI), che ha identificato dieci minacce principali:

- forze fisiche (impatto, shock, vibrazioni);
- furti e vandalismo;
- fuoco (da fonti esterne e naturali, doloso);
- acqua (da eventi atmosferici naturali, rischi per caratteri tecnologici o meccanici);
- parassiti (danni da organismi patogeni, secondo tipi di microrganismi, insetti, roditori, uccelli);
- inquinanti (gas, aerosol, liquidi o particelle solide di origine antropica o naturale);
- luce (ultravioletti e infrarossi);
- temperatura e cicli termici (fluttuazioni a breve termine e stagionali);
- umidità relativa (non compatibile e prevista);
- degrado (tendenza al naturale invecchiamento in assenza di azioni manutentive).

4. LA SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI NELL'ARTE PUBBLICA

Attraverso l'analisi di fattibilità sui casi studio di community art, si sono valutate le alternative costruttive in particolare per elementi inizialmente previsti in resine plastiche, fusione di bronzo, materiali lapidei ad alto costo. È stata messa a punto una lista di controllo per la sostenibilità ambientale, sociale ed economica dell'arte pubblica, al fine di diminuire il rischio di guasto e di limitare il degrado e quindi la frequenza manutentiva e sostitutiva.

A seguito dei risultati della valutazione, è emersa la potenzialità della sperimentazione per tali opere dell'Ultra High Performance Concrete (UHPC).

4.1 Il cemento ad alte prestazioni nel design e nell'arte pubblica

Le potenzialità del cemento come materia prima a vista nell'arte e nel design, che dichiara la propria connotazione estetica, si sono accresciute in parallelo ai risultati della ricerca tecnologica e del miglioramento prestazionale.

La riduzione delle criticità individuate nella tradizione del cemento armato, riguarda sia le caratteristiche resistive legate alla formulazione della miscela a base cementizia, sia i processi di produzione controllata, anche in piccola serie o pezzo unico. Nell'ultimo ventennio una nuova generazione di leganti cementizi innovativi è il risultato della nano-ottimizzazione della densità di miscela con differenti inerti fini, che funzionano come nano-rinforzo. Fra questi prodotti VIFORT sviluppato da Vicat Groupe, QUANTZ di G.tecz, EFFIX di Italcementi, FLOWSTONE e NANODUR di Buzzi-Dyckerhoff.

La struttura compatta, la finezza della miscela a base cementizia, la resistenza strutturale hanno aperto alla sperimentazione nel design di elementi per l'arredo e l'arte, di pannelli di rivestimento e di lastre pavimentazione, oltre alle applicazioni per basamenti tecnici, infrastrutture e solette sottili. La colatura della miscela in stampi plastici o metallici ad alta rifinitura consente la realizzazione di superfici piane a basso spessore e bassa porosità, su cui sono applicabili il taglio a getto d'acqua come le tradizionali finiture artigianali.

4.2 La catena di produzione neoartigianale

La tecnologia apre, inoltre, a forme innovative di processo di fornitura, in un mercato di nicchia definibile del *neoartigianato* della prefabbricazione.

La catena tradizionale di piccola fornitura (Noche e Tarek, 2013) riguarda: opere di cava; produzione del clinker - macinazione del cemento; selezione e fornitura degli aggregati; produzione, distribuzione e consegna.

La catena UHPC di *neoartigianato* si connota, invece, come un processo di fornitura di materiale, che ha come fase strategica la preparazione industriale di alta qualità e il controllo della composizione della miscela, con la definizione di linee guida vincolanti per la successiva esecuzione dei getti. Si tratta di un processo di prefabbricazione in calcestruzzo per un particolare mercato orientato al consumatore. La produzione interessa filiere integrate che curano dalla *traduzione* dell'idea progettuale alla costruzione digitale, all'esecuzione in stampi, alla preparazione, alla miscelazione del conglomerato, al getto e scasseratu-

ra rapida, alla eventuale fresatura superficiale e predisposizione per la posa.

Prospettiva futura, è la messa a punto di procedure-tipo integrate di analisi dei dati su base CAD e definizione dei requisiti di produzione, fino alla fabbricazione additiva con l'implementare della progettazione digitale direttamente in prodotti con stampa 3D.

Prospettiva attuale, è la diffusione di processi di integrazione operativa, fra fasi che richiedono controllo numerico e di qualità ed altre il cui sono ancora essenziali l'esperienza manuale, creativa e la competenza tecnico-artigianale. I risultati nel mercato orientato al consumatore riguardano l'alto grado di libertà di progettazione, l'ottimizzazione funzionale della produzione per prodotti unici o piccoli lotti, come nel caso di *Creabeton Matériaux* a Granges-près-Marnand, che ha sviluppato le potenzialità di un nuovo conglomerato. Le malte ad altissime prestazioni autolivellanti, a rapido getto e maturazione, possono connettere la durabilità di un materiale cementizio con la lavorabilità di un materiale plastico. Le superfici sono lisce o articolate, ma contenendo i sottosquadra, con effetto levigato e semilucido. L'adozione di superfluidificanti (policarbossilati modificati) permette l'adattabilità a casseforme di disegno complesso. I conglomerati sono commercializzati premiscelati e additivati a secco. Sono risultati fondamentali il corretto dosaggio di acqua (in funzione delle condizioni ambientali) e di eventuali pigmenti di origine minerale, nonché il trattamento degli stampi in EPS (con formulato a base di resine poliuretaniche alifatiche), per ottenere una superficie uniforme anche nel colore, atta a garantire il rapido e regolare adattamento del getto.

4.3 La filiera locale progetto - realizzazione

Per il caso di ricerca del parco Spina 4, si è sperimentata la filiera di progettazione – realizzazione a costo limitato e sostenibile con elementi cementizi ad alte prestazioni, articolata nelle fasi:

- ideazione e definizione del bozzetto in diversi materiali (manuale o digitale);
- restituzione in forma digitale;
- esecuzione di stampi in negativo con tecnica di prototipizzazione 3D;
- ottimizzazione della composizione dell'UHPC;
- trattamento degli stampi, getto ed esecuzione in UHPC;
- eventuale finitura superficiale (levigatura, fresatura, protezione) e predisposizione per il montaggio. La scelta di UHPC ha riguardato tre opere.

- Piattaforma scultorea IDENTITÀ. L'opera consiste in una lastra circolare di cemento ad alte prestazioni (160 cm di diametro, spessore 8 cm) posta sul terreno, con sottofondo drenante. Sulla superficie superiore è impressa l'impronta di un corpo, l'opera si integra con la natura.

- Altorilievi FACE. Composto da tre elementi ad immagine di volto umano, a simbolo delle diversità etniche degli abitanti. Sono realizzati con moduli (ingombro in altezza 150 cm e larghezza 100 cm) per fissaggio a muro (altezza da 100 a 250 cm da terra).

- Panchina MECHANICALGESTURE. Il sistema scultoreo, articolato in due grandi elementi metallici verticali, comprende alla base una panchina praticabile, posata su sottofondo cementizio con finitura di pavimento fotocatalitico. L'ingombro è di 270 x 66 cm, la realizzazione risponde alla norma UNI 11306:2009, "Panchine - Requisiti di sicurezza e metodi di prova", garantendo deflusso dell'acqua, agevole pulizia, riduzione dei rischi di lesioni per l'utilizzatore (bordi e spigoli arrotondati, con raggio ≥ 2 mm, inclinazione piano seduta 2%).

5.0 GLI ASPETTI PRESTAZIONALI NELLA SPERIMENTAZIONE

La valutazione tecnico-prestazionale fa un primo riferimento alla norma UNI 8290:1981, considerando per i sistemi tecnologici degli spazi aperti urbani sicurezza d'uso, salvaguardia ambientale, gestione, fruibilità e monitoraggio nel tempo.

5.1 La valutazione di sostenibilità

Il potenziale di sostenibilità per l'impatto ambientale si definisce secondo i dati normalizzati all'interno di un bilancio ecologico, conformemente alle norme europee EN ISO 14040 e EN ISO 14044. L'entità relativa di ciascun impatto normalizzato (NP(j)) considera il fattore equivalente (EQ(j)) ed è espressa in funzione del tempo di simulazione in anni (T) dell'effetto normale per unità di tempo (R(j)), nella formula (Müller e altri, 2014):

$$NP(j) = EQ(j) \times 1 / (T \cdot R(j)).$$

Nel caso dell'alternativa di materiali - fra resine e cemento - la variabile tempo porta a differenze così rilevanti (da 20 a 100 anni) da rendere quasi trascurabili gli altri fattori. Nelle miscele di UHPC, vantaggio ecologico dell'applicazione senza armatura è, inoltre, che il ciclo di vita supera il processo di costruzione. Il materiale di lunga durata, di ingombro volumetrico ridotto in funzione del contenimento degli spessori, è riciclabile a fine vita.

5.2 Le scelte prestazionali

Si sono confrontate differenti miscele, in base ai parametri della norma EN 196-1. La combinazione di cementi standard di alta qualità e particelle ultrafini consente una regolazione mirata delle proprietà.

Gli UHPC considerati prevedono inerti che permettono di minimizzando i vuoti: microfini, in frazioni variabili di 2 - 20 μm ; micro-nanosilici sintetiche amorfe in frazioni variabili di 0,2 - 4 μm .

Il rapporto acqua/cemento è molto basso ($< 0,3$), richiede l'aggiunta di additivo superfluidificante.

Per le opere IDENTITÀ e FACE è stata utilizzata la miscela a base cementizia FLOWSTONE di Buzzi Unicem, in cemento bianco. L'intento delle artiste era in fatti di raggiungere una superficie fine e levigata, con effetto superficiale affine alle resine e al marmo.

Per la panchina MECHANICALGESTURE si è invece adottata la miscela NANODUR colorata in pasta grigio scuro, per restituire un colore affine alla pietra lavica, con superficie compatta, ma leggermente più scabra e di più elevata resistenza meccanica.

Le tabelle restituiscono i dosaggi del progetto delle miscele cementizie e le principali prestazioni.

FLOWSTONE	1000	NANODUR Comp.5941 grey	1050	kg/m ³
Pebble	600	Pebble	600	kg/m ³
Sand (1-2 mm white)	400	Pit sand 0/2 mm (naturally moist)	430	kg/m ³
Aggregate 2	400	Double-screened chips 2/5 mm (n. m.)	880	kg/m ³
Steel fiber 015/9			60	kg/m ³
Plasticizer Chryso Fluid Premia 180	16	PCE superplasticizer	18	kg/m ³
Air release Optec 969 Grace	3	Air release Optec 969 Grace	1,3	kg/m ³
Water	180	Water	160	l/m ³

Figure 1. Case study. Public art in Spina 4 Park, Torino. Concrete mix-designs /Miscele del conglomerato.

Property	FLOWSTONE	NANODUR (Compound 5941)	
Compressive strength 1-7 d	61 (1d)	185 (7d)	MPa
Compressive strength 28 d	98-100	(160)-190	MPa
flexure tensile strength 28 d	12-15	23	MPa
Initial setting time	45	190	min

Figure 2. Case study. Public art in Spina 4 Park, Torino. Concrete mechanical properties /Proprietà delle miscele.

Sono state considerate le proprietà di resistenza meccanica (EN 197:2011), elevata impermeabilità,

alto livello di resistenza al gelo e elevata resistenza all'usura e abrasione.

Il costo e la sostenibilità dei compound determina di ottimizzare l'uso, la determinazione dello spessore minimo consentito per le tre applicazioni è in funzione di prevenire la rottura a flessione senza rinforzo e permettere la verifica a taglio-punzonamento, evitando deformazione eccessive.

Nel calcolo strutturale iniziale, per conglomerato ordinario, si era ipotizzato uno spessore degli elementi di 150 mm. Per l'UHPC, nel definire lo spessore si sono considerati differenti test nella letteratura, come la sperimentazione di Dyckerhoff Weiss (BAU 2011) con il legante NANODUR, in cui lo spessore della soletta è ridotto a 29 mm con rinforzo dell'1% di volume e come le prove (Harris, 2010) per campioni di lastre in UHPC di dimensioni confrontabili e spessore 51, 64, 76 mm. E' stato quindi definito, per le tre tipologie di elementi, uno spessore medio prudenziale di 80 mm.

5.3 La valutazione del comportamento in opera

Gli elementi presentano diverso rischio manutentivo, sono stati monitorati nell'anno e non si è manifestata alcuna criticità strutturale. Si riportano in sintesi i risultati.



Figure 3. Case study. Public art in Spina 4 Park, Torino. Artwork IDENTITÀ. Project, cast works, installation (June 2015), actual conditions (December 2015, June 2016)/Opera d'arte IDENTITÀ. Progetto, prefabbricazione, installazione (06.2015), stato attuale (12.2015, 06.2016).

- Piattaforma scultorea IDENTITÀ. Il rischio è dato sia dal diretto contatto con il suolo, in termini di umidità ascendente e di agenti patogeni, sia dall'esposizione agli agenti atmosferici. La limitata pendenza e la presenza di un disegno a basso rilievo possono causare il ristagno di umidità. Si sono osservati limitati accumuli di polveri nella fase invernale, dilavati dalle piogge estive senza alterazione della superficie, con formazione di leggera patina.

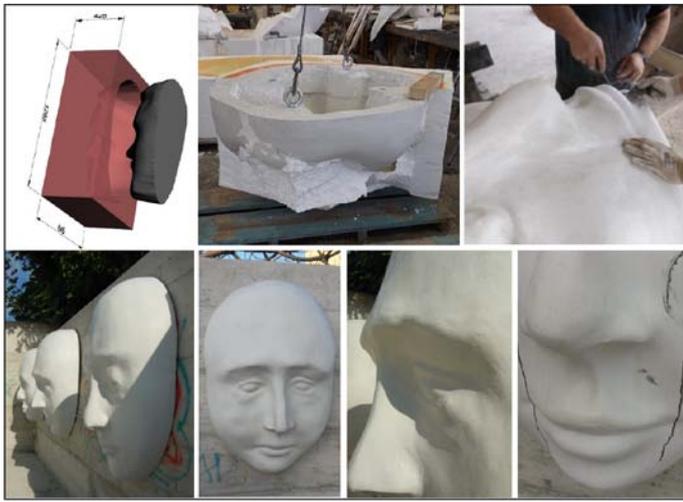


Figure 4. Case study. Public art in Spina 4 Park, Torino. Artworks FACE. Mould project, cast works, after casting, installation (June 2015), actual conditions (December 2015, June 2016)/Opera d'arte FACE. Progetto stampo, prefabbricazione, finitura, installazione (06.2015), stato attuale (12.2015, 06.2016).

- Altorilievi FACE. Le opere sono collocate su una nuova parete in doppia lastra tralicciata di cemento, hanno 5 punti di ancoraggio nascosto, con barre filettate in acciaio al carbonio passivato. In attesa del completamento degli accessi al Parco, la localizzazione è in un angolo particolarmente protetto dall'azione degli agenti atmosferici, ma esposto ad atti di vandalismo. Non si sono evidenziati cedimenti e formazione di muffe all'attacco, né patina superficiale, sono invece presenti graffiti di cui si prospetta la rimozione a secco.



Figure 5. Case study. Public art in Spina 4 Park, Torino. Artworks MECHANICALGESTURE bench. Project, mould, cast works, installation (June 2015), actual conditions (December 2015, June 2016)/Opera panchina MECHANICALGESTURE. Progetto, stampo, prefabbricazione, installazione (05.2015), stato attuale (12.2015, 06.2016).

- Panchina MECHANICALGESTURE. La collocazione nella parte inferiore dell'installazione è per sola posa, senza diretto contatto con le altre parti metalliche. I carichi accidentali dovuti sia alla seduta che all'uso per il gioco non hanno determinato criticità.

Si è osservata, ad 1 anno, la formazione di una patina continua leggermente più chiara per le parti esposte, con lieve fenomeno di carbonatazione.

6. CONCLUSIONI

The case study presented in this paper about three works of public art in a park of Turin (Italy) shows to what extent many interacting factors come into play in the optimization of the manufacturing process, from the digital conversion of the proposed artworks and the machining of the negative moulds to the requirements of prefabrication and site conditions. Furthermore, the design and manufacture activities (within a sort of "advanced artisan approach") go back to - and revive - some specific Italian and European traditions, turning the know-how accumulated so far into a digital-manual process. The advanced artisan approach brings in high levels of quality in the final product, in terms of technical performance, reliability and image. Durability and aesthetic values, however, must be guaranteed in the long run. To this end, continuous monitoring is necessary, in order to indicate in what direction improvements should be made, with reference to the applications and to the supply chain of the innovative materials to be used, such as ultra high-performance concretes.

Il caso di studio presentato in questo articolo, riguardo a tre opere d'arte pubblica in un parco di Torino (Italia) mostra fino a che punto molti fattori che interagiscono entrano in gioco nella ottimizzazione del processo di produzione, dalla conversione digitale delle opere d'arte proposte alla lavorazione degli stampi negativi, ai requisiti della prefabbricazione, alle condizioni del sito. Inoltre, le attività di progettazione e produzione (all'interno di una sorta di "approccio artigianale avanzato"), recupera - e far rivivere - alcune specifiche tradizioni italiane ed europee, mutuando le competenze accumulate in un processo digitale - manuale. L'approccio artigianale avanzato consente di raggiungere livelli elevati di qualità nel prodotto finale, in termini di prestazioni tecniche, affidabilità ed immagine. I valori di durabilità ed estetici, tuttavia, devono essere garantiti nel lungo periodo. A tal fine, il monitoraggio continuo è necessario, per indirizzare al miglioramento continuo, in riferimento alle applicazioni e al processo di fornitura dei materiali innovativi utilizzati, come i calcestruzzi ad altissime prestazioni.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Buzzi Unicem per la consulenza tecnica.

REFERENCES

- Beerkens L., Breder F., 2012. TEMPORARY ART? The Production and Conservation of Outdoor Sculptures in Fiberglass-Reinforced Polyester. *The Getty Conservation Institute Newsletter*, v. 27, n. 2, pp. 13-6.
- Città di Torino, Settore decoro urbano, 2009. Progetto Arte Pubblica e Monumenti - P.A.Pu.M.
- Della Mura C., Simonato E., 2012. Architettura e nanotecnologie, Milano, Libreriauniversitaria.
- Harris D.K., 2010. Application of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) for Sustainable Building Component. *Sustainable Buildings – Materials and Energy Workshop*, July 12-13, 2010, Technion, Haifa.
- Maspoli R., 2015. Regeneration, cultural facilitation and sustainable experimentation in public art / Rigenerazione, facilitazione e sperimentazione sostenibile nell'arte pubblica, *EcoWebTown*, n. 12, vol. 1/2015.
- Maspoli R., 2014. Outdoor Collaborative and Creative Space Renewal in a Smart City. In *Advanced Engineering Forum*, v. 11, Trans Tech Publications, Switzerland.
- Morton E., 2002. Dinosaurs at Crystal Palace Park. *CONTEXT - The Institute of Historic Building Conservation*, n. 75.
- Müller H., Breiner R., Moffatt J.S., Haist M., 2014. Design and properties of sustainable concrete. In *2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials 2014*, Procedia Engineering n. 95, pp. 290 – 304.
- Noche B., Tarek E., 2013. Approach to innovative supply chain strategies in cement industry - Analysis and Model simulation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* n. 75, pp. 359 – 369.
- Rava A., 2015. Arte ambientale. Il restauro del “Finestra sul mare”. In Laura Barreca and others (ed.), *L'arte fuori dal museo: Problemi di conservazione dell'arte contemporanea*. Napoli, Gangemi, pp. 30-41.
- Stigter S., Beerkens L., Schellen H. L., Kuperholc S. 2008. Joep van Lieshout's 'Mobile Home for Kröller-Müller': Outdoor polyester sculpture in transit. *ICOM 15th Triennial Conference 2008*, Allied Publishers, v. 1, pp. 489-96.
- Vella S., Bortolussi C., Zanardi B, 2015. The Eternal Youth of Capalbio's Monsters: A preservative and preventive conservation project. *SPark: Conservation of Sculpture Parks Conference - INCCA*, September 14-16, 2015, Sisak, Croatia.