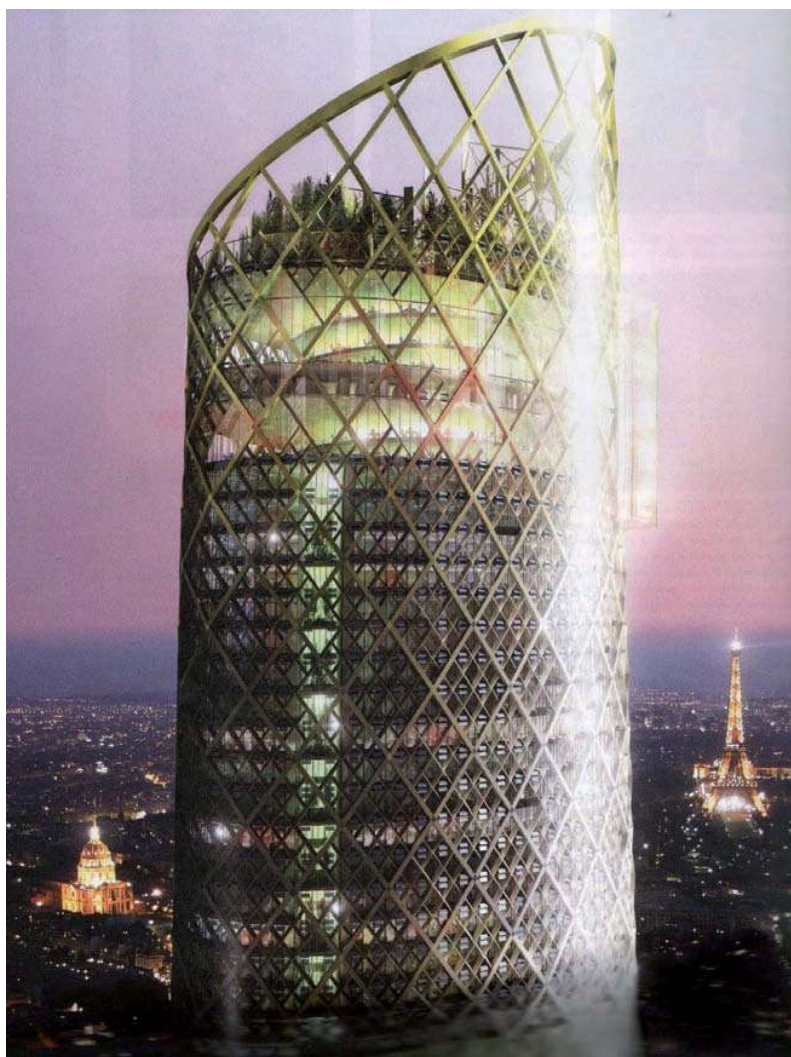




#### MODULO PAROLE CHIAVE

**NANOTECNOLOGIE** · NANOMATERIALI  
· CEMENTO · NANO IDENTATION ·  
SYNCHROTRON RADIATION · RPC REACTIVE  
POWER CONCRETE - **UHPC ULTRA**  
**HIGH PERFORMANCE CONCRETE** · EPD  
ENVIROMENTAL PRODUCT DECLARATION · MIX  
DESIGN



Variazioni di scala:  
le prestazioni del  
**CEMENTO** materiale  
“macro”, aumentano  
attraverso le **NANO**  
**PROPRIETÀ** della sua  
struttura cristallina

MATTIA LEONE



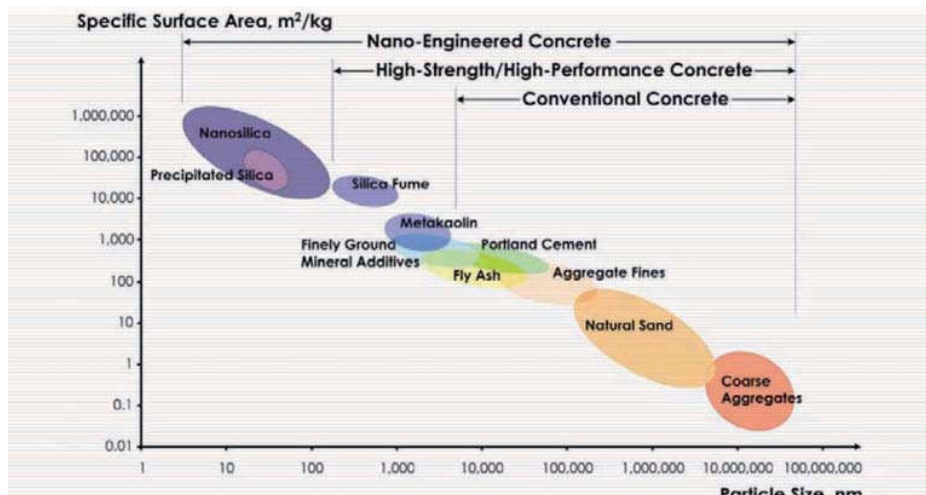
I settore delle costruzioni è stato tra i primi, sin dall'inizio degli anni '90, ad essere identificato come promettente area applicativa per le nanotecnologie. Ad oggi, tuttavia, le innovazioni prodotte non hanno ancora raggiunto i risultati attesi e si tratta di un comparto tuttora ancora in una fase embrionale di sviluppo, soprattutto dal punto di vista delle applicazioni concrete. Gli obiettivi dichiarati dei soggetti impegnati nella ricerca su nanomateriali e nanosistemi riguardano principalmente il passaggio da uno sviluppo dei materiali basato sullo sfruttamento di risorse, ad uno basato sulla conoscenza, in grado di trasformare il settore dell'industria delle costruzioni in un settore ad alto potenziale tecnologico, centrato su innovazione, competitività, rispetto dell'ambiente e sicurezza sociale, attraverso alcuni punti chiave, quali un utilizzo più razionale delle materie prime, la riduzione dei costi nel ciclo di vita dei prodotti, la produzione di nuovi materiali con elevati livelli prestazionali, il miglioramento dell'efficienza e della durabilità dei prodotti. Questo quadro restituisce uno scenario a breve e medio termine (5-15 anni), in cui l'accresciuta familiarità con i prodotti e i sistemi basati su nanotecnologie, nonché una prova della loro affidabilità a partire dallo sviluppo di progetti pilota, consentirà di ampliare le applicazioni in ambito architettonico. Allo stato attuale, le applicazioni più promettenti riguardano i rivestimenti nanostrutturati: vernici, sigillanti, trattamenti superficiali antimacchia e antinquinamento, resistenti all'abrasione e agli agenti aggressivi, fotoreattivi, isolanti, trasparenti e anti UV. Significative innovazioni riguardano anche la capacità di strutturare alla nanoscala i materiali convenzionali – in particolare acciaio, ceramica, calcestruzzo e materiali compositi – sia attraverso l'aggiunta di nanomateriali in fase di produzione, sia semplicemente osservando il comportamento delle nanostrutture responsabili delle proprietà finali dei materiali e modificando le tecnologie produttive in modo da minimizzare le imperfezioni del prodotto finito (cfr. *Glossario nanotecnologico*).

A fronte di tali promettenti innovazioni, sono tuttavia da segnalare le numerose incertezze in relazione ai potenziali rischi per l'ambiente e per la salute umana connessi con la diffusione di nanoparticelle nell'atmosfera, tema sul quale la comunità scientifica non è ancora in grado di dare risposta, anche per il sostanziale ritardo con cui sono state avviati filoni di ricerca specifici. I fattori di rischio potrebbero essere anzi aggravati in seguito alla diffusione delle nanotecnologie in settori produttivi di ampio consumo, come appunto quello edilizio, considerata anche la difficoltà di garantire adeguati sistemi di controllo e certificazione dei prodotti. Tra le varie tipologie di materiali che è possibile ripensare alla luce dello sviluppo delle nanotecnologie applicate ai materiali da costruzione, i materiali cementizi nanostrutturati costituiscono uno dei settori di ricerca più stimolanti. Nonostante infatti il cemento sia così diffuso, i meccanismi fondamentali che ne regolano il comportamento sono acquisiti in maniera ancora limitata nella comune prassi progettuale e costruttiva. I criteri di progettazione delle strutture in c.a. sono in gran parte desunti dai comportamenti osservati, secondo un approccio tradizionalmente empirico piuttosto che orientato dal punto di vista scientifico. La maggior parte delle reazioni chimiche che regolano le proprietà finali dei materiali cementizi avvengono infatti alla scala nanometrica mentre, paradossalmente, la ricerca si è sempre concentrata al livello macroscopico. Essendo il cemento un "macro-materiale" fortemente influenzato dalle "nano-proprietà" espresse dalla sua struttura cristallina, i processi chimici che si innescano sin dal momento della reazione del cemento con l'acqua possono influire sulla micro e nanostruttura del conglomerato e, di conseguenza, sulle prestazioni del materiale. Le nanotecnologie permettono ad esempio di analizzare, modificare e controllare l'idratazione del cemento presente in malte e calcestruzzi, migliorando le presta-



Tipologie di materiali cementizi nanostrutturati.

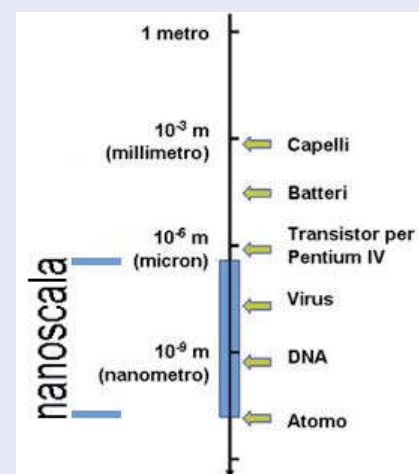
La dimensione e l'area superficiale specifica delle particelle dei materiali costituenti i prodotti cementizi permettono di distinguere i calcestruzzi convenzionali, quelli ad alte prestazioni meccaniche e quelli nanoingegnerizzati (fonte: Kostantin Sobolev e Miguel Ferrada Gutierrez, "How nanotechnology can change the concrete world" - Part 1, in American Ceramic Society Bulletin, vol. 84, n. 10, ottobre 2005, pp. 14-18).



zioni globali in relazione alla massa, così da ottenere eccellenti proprietà meccaniche e chimico-fisiche con minore quantità di materiale. Inoltre, la struttura di calcio-silicato-idrato (C-S-H) generata dalla reazione tra i diversi componenti chimici in fase di idratazione del cemento – responsabile delle proprietà fisiche e meccaniche (incluso ritiro, *creep*, porosità, permeabilità ed elasticità) – può essere modificata per ottenere una durabilità più elevata o per realizzare impasti caratterizzati da una migliore lavorabilità nel tempo. Lo studio del comportamento delle particelle che compongono il gel C-S-H, di dimensioni nell'ordine dei 2 nm, rappresenta uno dei principali settori della ricerca nanotecnologica legata ai materiali cementizi, riconoscendo come in queste nanostrutture si trovi una sorta di "codice genetico" del cemento, l'impronta delle caratteristiche nanomeccaniche che si traducono nelle proprietà finali del materiale. L'applicazione di nanotecnologie per l'osservazione – quali risonanza magnetica nucleare, microscopio elettronico a scansione (SEM) o a trasmissione (TEM), microscopio a forza atomica (AFM) – e il *testing* dei materiali – *nano-indentation* e *synchrotron radiation* – consente di modificare e controllare la struttura del materiale ottenendo cementi e calcestruzzi nano-ingegnerizzati con prestazioni su richiesta. L'aggiunta di nanomateriali di vario tipo all'impasto cementizio (e la creazione quindi di nanocompositi a base cementizia) permette invece di introdurre proprietà anche inedite, come la capacità di degradare sostanze inquinanti o di auto-monitorare il proprio comportamento nel tempo. Rispetto agli additivi tradizionali, l'aggiunta quantità minime di nanoparticelle nell'impasto cementizio consente modificare il comportamento reologico e di incrementare specifiche proprietà del materiale.

**Glossario**

Nanoscienza	Studio dei fenomeni, delle proprietà e delle possibilità di interazione della materia alla scala atomica, molecolare e macromolecolare.
Nanotecnologia	Capacità di osservare, misurare e manipolare la materia su scala atomica e molecolare.
Nanometro	Unità dimensionale pari a 10 <sup>-9</sup> m.
Nanoscala	Range dimensionale entro cui operano le nanotecnologie, convenzionalmente individuato tra 1 e 100 nm.
Nanomateriale	Struttura molecolare in cui una delle tre dimensioni nello spazio è inferiore ai 100 nm.
Materiale nanostrutturato/nanoingegnerizzato	Materiale le cui proprietà sono controllate alla nanoscala attraverso l'impiego di nanotecnologie, può contenere o meno nanomateriali al suo interno.
Nanocomposito	Materiale composito in cui almeno una delle fasi costituenti possiede una o più dimensioni inferiori a 100 nm.
Nanometro	Un nanometro equivale a un milionesimo di millimetro, ossia 10 <sup>-9</sup> m. Per avere dei termini di confronto, un capello è spesso circa 100.000 nm (circa 0,1 mm), mentre un atomo misura circa 0,15 nm, una molecola di DNA 2,5 nm e un virus 50 nm. Generalmente vengono definiti nanomateriali le strutture cristalline con almeno una delle dimensioni inferiori ai 100 nm (le nanoparticelle comunemente utilizzate hanno tutte e tre le dimensioni inferiori ai 100 nm o poco più).



Il ponte sul Canal Grande, il Maxxi a Roma: il muro di 100 metri senza giunti di Zaha Hadid, l'altissima resistenza e la durabilità dell'opera di Calatrava non sarebbero stati possibili senza i **CEMENTI DI NUOVA GENERAZIONE**. Nonostante normativa e legislazione ... soporifere

**T**ra i materiali cementizi oggetto di una continua innovazione legata alla modifica delle caratteristiche fisiche in funzione dell'ottenimento di specifiche prestazioni, il caso del calcestruzzo risulta particolarmente emblematico. L'obiettivo di combinare le prestazioni meccaniche con un determinato comportamento reologico per mantenere fluido e lavorabile l'impasto ha portato alla definizione di strategie legate al *mix-design* sempre più efficaci e diversificate, tanto da non permettere più di parlare di "calcestruzzo" come un materiale specifico, quanto piuttosto di diverse tipologie di conglomerati cementizi studiati a seconda delle esigenze progettuali. Lo sviluppo di materiali cementizi di nuova generazione, caratterizzati da proprietà innovative e dall'affidabilità delle prestazioni, ha contribuito a stimolare le ricerche progettuali, con esiti di particolare interesse. La concezione architettonica di Zaha Hadid per il museo Maxxi a Roma, con un muro alto 8 metri e lungo 100 senza giunti, non sarebbe stata possibile senza l'impiego di un calcestruzzo autocompattante (SCC, *Self Compacting Concrete*) a faccia vista appositamente progettato nel *mix-design* con additivi superfluidificanti e antiritiro. Solo nel campo degli autocompattanti, l'accurata selezione nella composizione degli impasti ha permesso di ottenere calcestruzzi ad altissima resistenza in grado di scorrere perfettamente anche in armature complesse, con una vita utile molto superiore ai 50 anni richiesti per normativa (Norman Foster, Trade World Center, San Marino; Santiago Calatrava, Ponte sul Canal Grande, Venezia). Le innovazioni nel campo dei materiali cementizi risentono tuttavia notevolmente del ritardo dell'apparato normativo. Nel caso del calcestruzzo, prima delle Norme Tecniche 2005, l'Italia era ferma alla normativa del 1973 (nonostante l'introduzione del 1996 dell'Eurocodice 2), e anche con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) la parte relativa al calcestruzzo non ha subito modifiche sostanziali. Nonostante i passi avanti introdotti con l'organizzazione e la razionalizzazione e dei documenti attraverso un "Testo Unico", resta comunque presente la necessità di aggiornamento continuo in relazione alle nuove acquisizioni tecnico scientifiche e alle proprietà dei calcestruzzi innovativi. Un passo in avanti ha riguardato una maggiore attenzione alla determinazione delle caratteristiche meccaniche e di durabilità, non sufficiente tuttavia ad includere nella normativa calcestruzzi caratterizzati da classi di resistenza particolarmente elevate (>90 MPa) o con particolari caratteristiche fisico-chimiche (ridotta dimensione degli inerti, basso rapporto acqua/cemento, ecc.). Per tali tipologie di materiali, l'impiego resta subordinato a valutazioni specifiche – tra cui una modellazione del materiale basata su una specifica documentazione teorica e sperimentale, una trattazione circostanziata a giustificazione delle regole di calcolo adottate, l'indicazione delle procedure da seguire nella realizzazione delle strutture e per le certificazioni di qualità – determinando un forte ritardo del nostro paese nell'acquisizione e nella diffusione di tecnologie innovative.



Zaha Hadid, museo MAXXI, Roma e Santiago Calatrava, Ponte sul Canal Grande, Venezia. Entrambi i progetti sono stati realizzati impiegando calcestruzzi autocompattanti (SCC) specificamente formulati nel *mix-design* per rispondere alle esigenze di resistenza meccanica, posa in opera, durabilità.

L'ottimizzazione e la *customizzazione* delle prestazioni derivanti dall'approccio nanotecnologico alla progettazione dei calcestruzzi ha aperto la strada ad una molteplicità di applicazioni innovative. Tra queste, i calcestruzzi ad altissima resistenza meccanica (UHPC - *Ultra High Performance Concrete*), evoluzione degli RPC (*Reactive Powder Concrete*), sono destinati a rivoluzionare le logiche costruttive del cemento armato, consentendo una notevole riduzione delle sezioni strutturali e della necessità di armature passive.

Le prime applicazioni hanno riguardato principalmente edifici industriali, ponti e opere di ingegneria civile (in Francia, Stati Uniti e Giappone), ma recentemente progettisti quali Jean Nouvel, Frank Gehry, Rudy Ricciotti, hanno iniziato ad esplorare le potenzialità espressive legate ad una maggiore libertà nella concezione strutturale che si traduce nello sviluppo di progetti caratterizzati da strutture esili, ampie luci ed elementi strutturali modellati in maniera plastica, le cui superfici sono prive di imperfezioni, con *texture* personalizzabili e resistenti agli agenti atmosferici senza necessità di trattamenti superficiali aggiuntivi.

Le sperimentazioni e le prove effettuate hanno consentito ai paesi "pionieri" di costituire un *know-how* di base necessario allo sviluppo di soluzioni tecniche e progetti sempre più innovativi. In Francia, in particolare, la realizzazione delle prime linee guida per la progettazione con calcestruzzi UHPC ha consentito un notevole passo in avanti verso una standardizzazione e una maggiore conoscenza della tecnologia, delle caratteristiche e delle proprietà del materiale, fornendo consigli per la progett-

Immagine della struttura del C-S-H nell'UHPC ottenuta mediante un microscopio elettronico a trasmissione (TEM). Si nota l'estrema compattezza della struttura cristallina, da cui dipendono il comportamento in fase di ritiro e le proprietà meccaniche.

## ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE: opere di nano ingegneria, sapiente MIX DESIGN tra inerti, acqua, cemento, additivi



tazione e istruzioni dettagliate per la preparazione degli impasti, le prove di laboratorio, le modalità di trasporto e posa in opera.

Le problematiche legate all'eco-efficienza, ma anche alla competitività economica degli UHPC rispetto alle tecnologie convenzionali del cemento armato sono inoltre da qualche anno oggetto di studio da parte degli stessi produttori, attraverso l'introduzione di EPD (*Environmental Product Declaration*) che certificano il consumo di risorse materiali, di energia e i livelli di emissioni in fase di produzione, con l'obiettivo di offrire una risposta efficace ai vari *competitors*, dato il costo molto alto del materiale per unità di prodotto.

Generalmente gli UHPC non si configurano come nanocompositi, non presentando nanoparticelle aggiunte nell'impasto, ma piuttosto come calcestruzzi nano-ingenerizzati.

Si tratta di materiali compositi "ordinari", costituiti da una matrice cementizia e un rinforzo a fibra corta in fibre polimeriche o metalliche non orientate, che contribuisce al miglioramento delle proprietà meccaniche e della durabilità. Lo sviluppo degli UHPC è stato reso possibile, oltre che dall'evoluzione nel campo degli additivi, principalmente dalla possibilità di osservare il comportamento delle nanostrutture responsabili del processo di idratazione del cemento e di selezionare un *mix-design* specifico bilanciando la tipologia e la dimensione degli inerti, il rapporto acqua-cemento e gli additivi da impiegare. Il rapporto acqua-cemento molto basso (0,19 - 0,21, a fronte dei rapporti convenzionali da 0,45 a 0,60) consente di raggiungere particolari classi di resistenza, ma senza un controllo della tipologia e dimensione degli inerti (particolarmente fini: fumo di silice, quarzo macinato e sabbia del diametro massimo di 60 micron) e delle fasi di idratazione (in particolare del comportamento volumetrico del C-S-H), non sarebbe stato possibile raggiungere l'insieme del-



# POLIESPANSO®

LA TECNOLOGIA DEL POLISTIRENE APPLICATA ALL'EDILIZIA



SOLAIO



MURO



DIVISORIO

## SISTEMA PLASTBAU®: L'UOMO AL CENTRO DEL NOSTRO PROGETTO

Negli edifici in cui è impiegato, il **SISTEMA PLASTBAU®** garantisce la possibilità di vivere in abitazioni ad elevato comfort. La nostra tecnologia costruttiva permette, in abbinamento a materiali idonei, un sensibile abbattimento dei rumori provenienti dall'esterno e dalle abitazioni contigue e un concreto risparmio sui costi per il riscaldamento e raffrescamento.

Il **SISTEMA PLASTBAU®** offre la possibilità di trasformare il processo edilizio da artigianale ad industriale partendo sempre da un'attenta progettazione e con un notevole risparmio nei tempi di esecuzione, pur garantendo un'elevata sicurezza degli addetti al cantiere. Il **SISTEMA PLASTBAU®** permette di soddisfare tutte le esigenze dettate dalle normative in materia di isolamento termico, acustico, di resistenza al fuoco e del calcolo statico antisismico.



**POLIESPANSO®**

Via Vespucci, 10 - 46100 Mantova  
Tel. 0376 343011 Fax 0376 343020  
info@poliespanso.it

[www.poliespanso.it](http://www.poliespanso.it)

le proprietà finali. La resistenza a compressione degli UHPC può variare tra i 150 e i 200 MPa.

Tali valori sono ulteriormente implementabili applicando un trattamento termico a circa 90°C durante la fase di maturazione – coprendo gli elementi tecnici realizzati con teli in plastica ed eventualmente insufflando all'interno vapore acqueo – raggiungendo così valori di resistenza a compressione fino a 230 MPa, la totale assenza di ritiro e la limitazione dei fenomeni di *creep*.

Il materiale presenta inoltre una resistenza a flessione (15-45 MPa) particolarmente significativa, che consente di realizzare elementi portanti di ridotto spessore che non necessitano di rinforzo passivo.

La resistenza a flessione comporta inoltre un notevole innalzamento della resistenza a taglio delle sezioni strutturali realizzate in UHPC, rendendo superflua in molti casi la presenza di staffe e rinforzi a taglio.

Accanto alla resistenza meccanica, la presenza di fibre unite alla compattezza della struttura chimico-fisica conferiscono al materiale una elevata duttilità, che determina un diagramma sforzo-deformazione caratterizzato da una fase plastica, simile a quello dell'acciaio.

Le prove a rottura di una trave inflessa evidenziano oltre il limite elastico, al posto del comportamento fragile tipico del calcestruzzo, la presenza di una serie di microfessurazioni che consentono di raggiungere una deformazione molto elevata prima della rottura.

Il materiale presenta anche un'ottima resistenza all'impatto:

Indicatore di durabilità	Calcestruzzo ordinario	HPC	UHPC
Porosità all'acqua (%)	12-16	9-12	2-6
Permeabilità all'ossigeno (mq)	10-13-10-16	10-17	<10-19
Profondità di carbonatazione dopo un mese di test accelerato (mm)	10	2	<0,1
Test di abrasione I=V/Vvetro	4	2,8	1,3-1,7

Confronto tra le principali proprietà collegate alla durabilità nei calcestruzzi convenzionali e negli UHPC.

negli Stati Uniti l'esercito ha testato l'impiego di UHPC nei bunker antiaerei, evidenziando la capacità del materiale di assorbire l'energia dissipata nelle esplosioni di bombe.

L'impiego di un calcestruzzo con tali caratteristiche non è previsto dalle attuali Norme Tecniche per le costruzioni in cemento armato, né è possibile assimilare gli UHPC a comuni calcestruzzi fibrorinforzati, le cui regole di progettazione sono recentemente state approfondite con le linee guida contenute nel CNR-DT 203/2004.

La diffusione di UHPC per impieghi strutturali richiederà necessariamente un'opportuna revisione normativa accompagnata da studi specifici, come è avvenuto in Francia con le linee guida sui BFUP (*Beton Fibrés à Ultra Haute Performances*) pubblicate nel 2005.

Le ottime caratteristiche di durabilità degli UHPC sono dovute alla compattezza della microstruttura e rendono il materiale particolarmente idoneo per applicazioni in ambienti aggressivi.

Una delle prime applicazioni ha riguardato la sostituzione di più di duemila tra travi e travetti all'interno della torre di raffreddamento della centrale atomica di Cattenom, in Francia.

Si tratta di elementi strutturali soggetti a ciclo continuo al contatto con acqua a 35°C per la refrigerazione del reattore e con i prodotti chimici impiegati per la pulizia delle pareti interne. Saggi effettuati dopo 10 anni hanno mostrato che le fibre metalliche, posta circa 1 mm sotto la superficie del materiale, non presentano fenomeni di corrosione e la resistenza a compressione delle travi è ancora pari a 200 MPa.

Le prove di durabilità condotte in Francia con la collaborazione del CSTB testimoniano una bassissima permeabilità ai liquidi e allo scambio gassoso: immerso continuamente otto mesi in un liquido (pari a circa trecento anni di intemperie), l'UHPC presenta unicamente un degrado superficiale dello spessore di 600 micron.

Il contatto con acqua in presenza di microfessurazioni sulla superficie, anziché degradare ulteriormente il materiale, consente l'autoriparazione delle fessure, grazie alla porosità a celle chiuse che evita la diffusione dell'acqua e alla presenza di una percentuale di cemento non ancora idratata che, reagendo con l'acqua, è in grado di compattare nuovamente la superficie. Ulteriori prove all'abrasione, condotte con l'EDF (l'Agenzia elettrica francese) per la realizzazione di condotti elettrici, hanno dimostrato una capacità di resistenza all'abrasione (1,3) equiparabile a quella di un materiale ceramico (1,2). Le proprietà di durabilità espresse dagli UHPC li rendono particolarmente idonei per applicazioni strutturali, poiché risultano limitati i fenomeni di degrado legati alla carbonatazione, all'attacco di agenti aggressivi o ai cicli di gelo-disgelo.

## Sistemi per il Controllo di Fumo e Calore

Una combinazione di prodotti marcati  per una protezione completa



**E.N.F.C**  
**A LAMELLE DA PARETE**  
a norma EN 12101-2



**E.N.F.C**  
**A BATTENTE DA TETTO**  
a norma EN 12101-2



**E.N.F.C**  
**A BATTENTE DA PARETE**  
a norma EN 12101-2



**E.N.F.C**  
**A LAMELLE DA TETTO**  
a norma EN 12101-2



**E.F.F.C SISTEMI DI**  
**EVACUAZIONE FORZATA**  
a norma EN 12101-3



**BARRIERE AL FUMO**  
**BARRIERE AL FUOCO**  
a norma EN 12101-1



**CAODURO SpA - Cavazzale VICENZA**  
Tel. 0444.945959  
info@caoduro.it - www.caoduro.it

NOVITÀ

## UNA COPPIA FORMIDABILE.

SISTEMA LEGNO-PVC LIGNATEC 200.

Il nuovo sistema Lignatec 200 coniuga in sé le migliori qualità di due materiali: all'interno legno, che conferisce all'ambiente un'atmosfera particolarmente naturale ed accogliente, ed all'esterno PVC termoisolante, che protegge efficacemente dalle intemperie - richiedendo inoltre poca manutenzione. **Una riuscita combinazione per una qualità dell'abitare più naturale ed attenta al risparmio energetico.**

Porte, finestre e persiane

**FINSTRAL®**



### Esterno in PVC

- protezione dalle intemperie
- facilità di cura
- termoisolante
- su richiesta con rivestimento in alluminio

### Interno in legno

- naturale
- accogliente
- duraturo

Lignatec 200 Classic-line

Le potenzialità applicative degli UHPC suggeriscono architetture ad altissime **PRESTAZIONI STRUTTURALI** e innovative **TEXTURE PER L'INVOLUCRO**. Già testimoniate da molti esempi. Quasi tutti all'estero per ora

I progetti realizzati evidenziano le potenzialità applicative degli UHPC: elementi prefabbricati in grado di sopportare sbalzi fino a 7 m con ridottissime quantità di armatura (Villa Navarra a Le Muy, di Rudy Ricciotti), pannelli larghi fino a 30 m (Abu Dhabi Classical Museum, di Jean Nouvel, con elementi forati lunghi anche 28 m) o con una finitura che riprende la *texture* dei mattoncini "lego" (Gare RATP, Thiais) passerelle di spessori ridottissimi (il "tappeto volante" a Strasburgo, 25 mm; Footbridge of Peace a Seul di Rudy Ricciotti, 30 mm). In Giappone uno strato di UHPC è stato utilizzato per la pista di atterraggio dell'aeroporto Haneda a Tokyo - struttura realizzata interamente su un'isola artificiale - con un notevole risparmio in termini di peso complessivo.

Finora gli UHPC sono stati impiegati per applicazioni strutturali principalmente nel campo dei ponti e delle passerelle, in edifici industriali o in elementi di ancoraggio. Le applicazioni su edifici civili sono limitate attualmente a pannelli di facciata di vario tipo (lisci, bugnati, traforati, ecc.), pensiline o coperture, ma non riguardano le strutture di elevazione, ad eccezione di alcuni progetti allo studio (Frank Gehry, Fondation LVMH; Jacques Ferrier, Hypergreen Tower), che prevedono l'impiego di elementi sottili poco armati.

Per sfruttare nel miglior modo le caratteristiche del materiale nella realizzazione di elementi portanti occorre partire da una concezione strutturale diversa da quella del tradizionale calcestruzzo armato, avvicinandosi a quella dell'acciaio. La scelta di impiegare l'UHPC per le strutture di elevazione comporta, soprattutto nel caso di luci elevate, di verificarne l'opportunità di impiego anche nella realizzazione dei solai (ad esempio con tegole a T prefabbricate). I vantaggi della struttura in UHPC, infatti, possono essere vanificati da un sovraccarico eccessivo degli elementi strutturali determinato da soluzioni tecniche convenzionali in c.a. Un'alternativa è rappresentata dalla possibilità di realizzare impalcati leggeri con lamiera grecata, come avviene comunemente per le strutture in acciaio.

Nel caso di pannelli per l'involucro ed elementi di facciata, quali aggetti e schermature, gli UHPC garantiscono la mas-



sima libertà progettuale consentendo nella maggior parte dei casi di evitare l'impiego di rinforzi passivi anche con dimensioni elevate e spessori particolarmente ridotti (1-3 cm) e di variare la finitura superficiale in funzione dello stampo impiegato.

La forte dipendenza delle prestazioni finali degli UHPC dall'accuratezza del *mix-design*, ha portato a concentrarsi inizialmente sull'impiego di elementi prefabbricati, che garantiscono un controllo del prodotto finale molto importante in termini di sicurezza. Si tratta di un requisito essenziale, considerando gli stati tensionali sviluppati all'interno di strutture realizzate con un materiale in grado di resistere a sollecitazioni così elevate.

L'interesse dei produttori in questo caso è duplice: da un lato si garantisce la qualità del prodotto finale, limitando rischi di applicazioni fallimentari che, in fase di lancio del prodotto, ne scoraggerebbero in parte l'uso. Dall'altro si stringe il rapporto con i prefabbricatori e con i cantieri, il che permette di migliorare continuamente il prodotto sulla base delle esigenze espresse in condizioni d'uso, realizzando uno scambio continuo tra la ricerca e le applicazioni concrete. Nonostante alcune sperimentazioni su elementi realizzati in opera (il caso più celebre riguarda il riempimento delle colonne in acciaio dei nuovi ascensori del Museo Reina Sofia a Madrid, di Jean Nouvel), in questa fase la maggiore competitività del materiale si esprime nei confronti di elementi prefabbricati, che possono essere realizzati con luci maggiori e minori spessori, semplificando notevolmente le operazioni di trasporto e di assemblaggio in cantiere. Recentemente sono state sperimentate tipologie innovative di UHPC che non necessitano dell'aggiunta di fumo di silice, idonee ad applicazioni con getti in opera. In Italia la diffusione di tecnologie UHPC è ancora molto limitata, tuttavia nel 2008 è stato realizzato in Veneto il primo impianto di prefabbricazione interamente dedicato alla produzione di componenti in UHPC, quali pannelli per l'involucro, pensiline di attesa ed elementi di arredo. L'esperienza italiana ha dimostrato l'efficacia di un approccio "artigianale" alla progettazione e alla produzione dei manufatti, in cui la cura nella definizione degli spessori, della composizione dell'impasto, nella progettazione e nella realizzazione degli stampi, si traduce in una maggiore qualità del prodotto finito, in termini di prestazioni meccaniche, di durabilità e di valenza estetica. In particolare, la scelta degli stampi in funzione del-

**LA FORTE DIPENDENZA DELLE PRESTAZIONI FINALI DEGLI UHPC DALL'ACCURATEZZA DEL MIX-DESIGN, HA PORTATO A CONCENTRARSI INIZIALMENTE SULL'IMPIEGO DI ELEMENTI PREFABBRICATI, CHE GARANTISCONO UN CONTROLLO DEL PRODOTTO FINALE MOLTO IMPORTANTE IN TERMINI DI SICUREZZA.**



BMW Welt, Monaco di Baviera

## L'entusiasmo di costruire: le soluzioni Hörmann per la protezione antincendio.



Vasta gamma di soluzioni antincendio omologate secondo i moderni standard di sicurezza.

Hörmann offre un ampio programma di soluzioni per la protezione antincendio. Gamma completa protezione antifumo e antincendio REI 60-120 in acciaio dal moderno design. Porte nelle versioni ad 1/2 battenti, portoni scorrevoli e girevoli, porte vetrate per soluzioni architettoniche pregiate.

**HÖRMANN**  
Porte • Portoni • Sistemi di chiusura



Per maggiori informazioni:

[www.hormann.it](http://www.hormann.it)

Tel. 0461-244444 • Fax 0461-241557 • [info@hormann.it](mailto:info@hormann.it)

IN ITALIA LA DIFFUSIONE DI TECNOLOGIE UHPC È ANCORA MOLTO LIMITATA, TUTTAVIA NEL 2008 È STATO REALIZZATO IN VENETO IL PRIMO IMPIANTO DI PREFABBRICAZIONE INTERAMENTE DEDICATO ALLA PRODUZIONE DI COMPONENTI IN UHPC, QUALI PANNELLI PER L'INVOLUCRO, PENSILINE DI ATTESA ED ELEMENTI DI ARREDO.

Le caratteristiche del progetto, si rivela un fattore determinante per contenere il costo complessivo degli elementi realizzati in UHPC. Nel caso di geometrie particolarmente complesse, l'incidenza dello stampo nel costo totale può arrivare fino al 40%. In questi casi la possibilità di razionalizzare l'assemblaggio prevedendo la ripetibilità di elementi realizzati con lo stesso stampo, permette di abbattere i costi in maniera significativa. Emblematici in tal senso sono alcuni progetti realizzati in anni recenti, quali la Shawnessy Light Rail Transit Station (Stantec Architecture, Calgary, Canada, 2004), in cui la geometria della copertura in UHPC (non armata, di spessore variabile tra 3 e 5 cm per una luce di 5 m) è stata realizzata impiegando lo stesso stampo per le due metà del guscio; oppure l'FHWA Bridge (Massachusetts Institute of Technology, McLean, Virginia US, 2004) divenuto il prototipo per i ponti a campata unica in UHPC negli Stati Uniti, in cui il dimensionamento della soletta è stato determinato attraverso un software sperimentale sviluppato al MIT, tenendo in considerazione le caratteristiche del materiale, la geometria e il costo degli stampi, i tempi di messa in opera dei singoli conci prefabbricati in funzione delle dimensioni massime trasportabili. La sperimentazione è stata portata avanti dalla Federal Highway Administration con l'obiettivo di sostituire il gran numero di ponti di competenza federale che presentano problemi statici. La soluzione progettuale, realizzata con solette di 21,3x2,44 m, si è rivelata conveniente rispetto alle tradizionali tecnologie del c.a. prefabbricato e delle strutture miste acciaio/c.a. sia dal punto di vista economico che dal punto di vista degli impatti ambientali in termini di consumo di energia primaria e di emissioni di CO<sub>2</sub>.

*Mattia Leone, architetto, Dottore di Ricerca in Tecnologia dell'architettura, svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di Progettazione Urbana e il Centro Studi Plinius-Lupt dell'Università degli Studi di Napoli Federico II nel campo del retrofit energetico e tecnologico di edifici e spazi pubblici, con particolare riferimento alle tecnologie innovative e ai materiali avanzati per l'architettura.*



Manuelle Gautrand, estensione del Musée d'Art Moderne Lille Métropole, Villeneuve d'Ascq. La facciata di 1850 m<sup>2</sup> è realizzata con pannelli forati di diverse dimensioni, con lunghezze dai 3 agli 8 m con spessori particolarmente ridotti (9 cm per pannelli di 25 m<sup>2</sup>).