

IL RESTAURO DEL GR

Aspetti di diagnostica, conservazione dei materiali e strategie di restauro.

di Luigi Coppola, Paolo Banfo, Tiziano Cerulli,
Paola Di Silvestro e Paolo Giglio - Mapei S.p.A., Milano

Il Grattacielo Pirelli, realizzato tra il 1956 e il 1960 è opera dell'architetto Giò Ponti, che si è avvalso per la progettazione delle strutture di Pierluigi Nervi, Arturo Danusso e Piero Locatelli.

Mapei partecipò attivamente alla realizzazione di quello che diverrà da subito il simbolo della Milano moderna. Ottantamila metri quadri di pavimenti in linoleum e gomma Pirelli furono posati su pannelli in masonite con ADESILEX 3. Progettato da Giò Ponti, è il primo esempio di pavimento flottante in Italia. Ora come allora Mapei è stata protagonista del restauro, iniziato nel 2002 dopo il noto incidente (in cui un aereo privato si schiantò contro il 26° piano del grattacielo). Questo intervento è stato fondato sulla consapevolezza che il palazzo Pirelli è un monumento dell'architettura contemporanea e su questo assunto iniziale si è basata l'intenzione di conservare, fin dove possibile, il valore architettonico e tecnico del monumento. Ad oggi sono stati ultimati i lavori di conservazione della facciata, l'esecuzione delle pavimentazioni sia in esterno sia in interno (in marmo di Carrara) e il consolidamento statico delle strutture in calcestruzzo. Il grattacielo è stato riaperto il 18 aprile 2004. Nello stesso periodo si sono tenuti due convegni sull'argomento: uno al salone del restauro di Ferrara il 27 marzo ("Tecnologie moderne e restauro: il caso Pirelli") e l'altro al Politecnico di Milano il 1° giugno ("Il restauro del grattacielo Pirelli").

I lavori

Nell'ambito del progetto di restauro del Grattacielo Pirelli si possono distinguere due attività essenziali:

- 1) la conservazione delle facciate, in cui sono stati definiti gli ambiti e le modalità degli interventi miranti a preservare le parti autentiche esistenti;
- 2) il recupero funzionale, in cui sono stati definiti gli interventi tesi a reintegrare le parti lacunose e a restituire all'edificio piena leggibilità formale e funzionalità.

Relativamente alla conservazione delle facciate, le operazioni di ripristino sono state precedute da una fase diagnostica costituita da test effettuati in cantiere e da analisi di laboratorio, per mezzo dei quali è stato possibile determinare la stratigrafia del rivestimento stesso. L'indagine, quindi, ha evidenziato come il punto debole del sistema fosse rappresentato, nella quasi totalità dei casi, dall'interfaccia malta di posa/calcestruzzo di regolarizzazione. Al fine di determinare la tecnica di ripristino

**CONSOLIDAMENTO STATICO
DELLE STRUTTURE IN CLS**



RIPRISTINO DELLA FACCIATA

*Immagine della facciata
del grattacielo Pirelli dopo
l'incidente aereo
del 18 aprile 2002.*

GRATTACIELO PIRELLI



Maggio 2004

PAVIMENTAZIONE DEL PIAZZALE

per l'eliminazione di questa patologia, sono stati condotti test in cantiere, grazie ai quali è stato possibile stabilire che la migliore soluzione era l'iniezione – all'interno della soluzione di discontinuità tra malta di posa e calcestruzzo di regolarizzazione – di un sistema epossidico a bassissima viscosità. In alcuni punti della facciata, laddove si era verificato il completo distacco delle tessere in mosaico, si è invece proceduto alla posa di nuovo mosaico vetroso, perfettamente riprodotto quello originale, utilizzando adesivi cementizi ad alte prestazioni. Il progetto di restauro del grattacielo ha, inoltre, incluso il rifacimento della pavimentazione del piazzale antistante l'edificio, in piastrelle di gres porcellanato e gomma "attacco cemento", e l'esecuzione delle nuove pavimentazioni della sala congressi, in particolare quella della hall in marmo di Carrara, materiale facilmente soggetto a macchiature, che ha richiesto accorgimenti specifici per la posa. Sono attualmente in corso i lavori per il ripristino dei sottofondi delle pavimentazioni in tutti i restanti piani del grattacielo, dove verranno posate pavimentazioni in gomma, linoleum e legno. Il ripristino strutturale dell'edificio a seguito dell'incidente dell'aprile 2002, infine, è consistito nel riallineamento degli impalcati dei piani 26° e 27° e nella restituzione della portanza originale ai carichi permanenti e accidentali mediante il rinforzo con cavi post-tesi – esterni alle travi - oltre che nel rinforzo statico delle travi e dell'intradosso delle solette impattate mediante placcaggio con lamine in materiali compositi in fibre di carbonio (CFRP).

1. La conservazione della facciata.

Il "Pirellone", così viene chiamato dai milanesi, costituisce un'immagine unica ed un elemento figurativo inconfondibile nello sky-line della città lombarda.

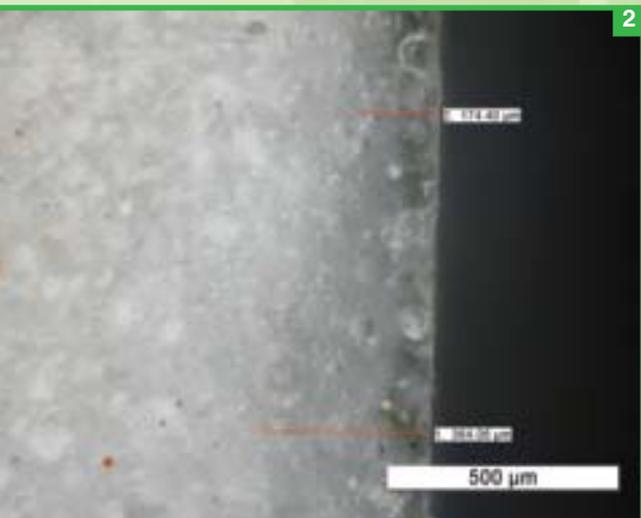
Localizzato in un'area strategica, di fronte alla Stazione Centrale di Milano, misura un'altezza di circa 125 m, con i due prospetti principali completamente vetrati, segnati sulle facciate dalla presenza dei due "setti" trasversali sulla Piazza Duca d'Aosta, da tali setti e dai vani tecnici su via Fabio Filzi, e racchiusi agli estremi dalle due "punte" in calcestruzzo armato. Tutte le strutture in c.a. presenti sulle facciate, e le due punte di estremità, sono rivestite da tessere in mosaico vetroso. La Regione Lombardia aveva commissionato già nel 2000 un "monitoraggio" dello stato conservativo della facciata e un resoconto

generale delle patologie di degrado, al termine del quale fu presa una decisione coraggiosa: conservare i profilati in alluminio delle facciate continue e il mosaico a tesserine di vetro, abbandonando le più sbrigative soluzioni sostitutive, affiorate in un primo momento.

1.1 Il rivestimento in mosaico di vetro.

1.1.1 Mosaico esistente.

Ai fini della caratterizzazione chimico-fisica del rivestimento sono state condotte analisi di dif-



frazione ai raggi X (XRD), di fluorescenza (XRF) oltre alla realizzazione di numerose sezioni sottili dei campioni prelevati (foto 1). Da queste indagini è stato possibile confermare che le piastrelle, di dimensione 2x2 cm e spessore 4 mm, sono costituite fondamentalmente da due strati (foto 2): entrambi sono costituiti da silice (SiO₂), allumina ed alcuni ossidi alcalini (Na₂, K₂O, MgO, CaO, PbO) che confermano la natura prevalentemente vetrosa del rivestimento. Lo strato superficiale è costituito, oltre che dai suddetti elementi, anche da ZnO e ZrO₂ e ossidi responsabili della colorazione (variabile dal biancastro al grigio-azzurro) e della durezza superficiale della piastrella.

Queste analisi sono risultate utili anche durante la seconda fase dei lavori, quando si è reso necessario sostituire e integrare alcune tessere mancanti del rivestimento con nuove che riproducessero esattamente quelle originali.

1.1.2 Mosaico nuovo.

Le nuove tessere prodotte sono risultate simili, per dimensioni e colore, a quelle originarie del grattacielo Pirelli, già descritte nel precedente paragrafo. Dal punto di vista chimico hanno composizione simile per gli elementi maggiori (sono silicoalluminatiche), ma differiscono per la concentrazione di alcuni elementi minori. Infatti, come si può notare dalla foto 3, le nuove tessere hanno un maggior contenuto di Zr di quelle originarie e non contengono Pb. Entrambe le tessere (sia quelle originarie

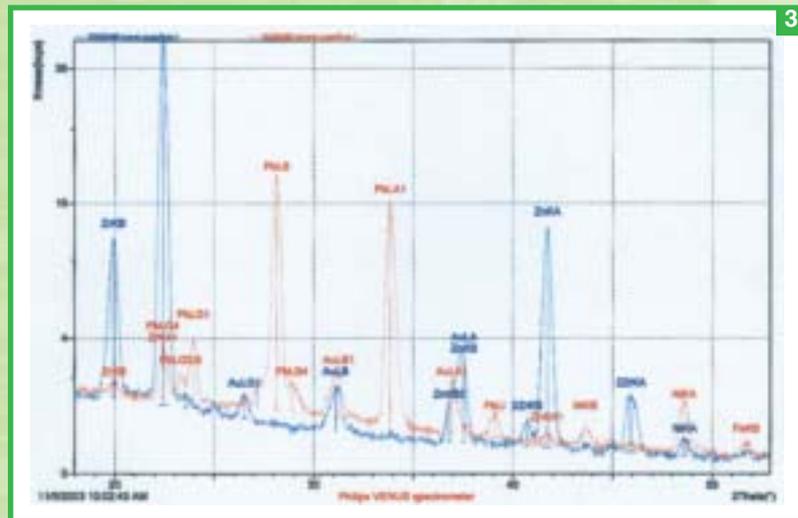


Tabella 1. Resistenza meccanica a compressione, massa volumica (mv), velocità di propagazione delle onde ultrasonore (v) e modulo elastico dinamico (E) del calcestruzzo della struttura in c.a.

Carota n°	mv (kg/m ³)	R _{cil} (h/d=1) (N/mm ²)	R _{cil} (h/d=2)* (N/mm ²)	R _{cub} ** (N/mm ²)	v (m/s)	E (N/mm ²)
03-SE-06 75-01	2325	58.3	52.8	66.0	4160	38150
03-SE-07 75-01	2295	35.7	32.3	40.4	4130	37050
10-SS-08 75-01	2210	42.5	38.5	48.0	4240	37530
10-00-12 75-01	2255	33.8	30.6	38.2	4210	37850

*: $R_{cil} (h/d=2) = R_{cil} (h/d=1) \cdot 0.905$

** : $R_{cub} = R_{cil} (h/d = 2) / 0.80$

Tabella 2. Massa volumica (mv), assorbimento d'acqua (a), velocità di propagazione delle onde ultrasonore (v), modulo elastico dinamico (E) e principali costituenti del calcestruzzo di regolarizzazione.

Carota n°	mv (kg/m ³)	a (%)	v (m/s)	E (N/mm ²)	Costituenti
03-SE-06 75-01	2200	3.8	4000	33375	—
03-SE-07 75-01	2165	4.3	4210	36357	—
03-NO-13 75-01	2202	4.0	4220	37127	—
03-SE-15 75-01	2179	4.1	4120	35053	Quarzo, Biotite, Clorite, Calce
10-SE-06 75-01	2152	4.2	4100	34000	Quarzo, Biotite, Clorite, Calce

Foto 1. Foto macro delle tessere di rivestimento prelevate dal Grattacielo Pirelli.

Foto 2. Sezione di una piastrella con misure dello spessore dello strato superficiale: lo spessore varia da circa 100 a circa 400 µm.

Foto 3. Confronto tra gli spettri XRF della superficie di una tessera originaria del Grattacielo Pirelli (in rosso) e di una prodotta in Malaysia (in blu).

L'analisi chimica elementare dei provini è stata eseguita mediante microscopia elettronica acquisendo i corrispondenti EDS nei laboratori di R&S Mapei.

che quelle nuove) sono costituite da due parti principali: lo strato superficiale e il corpo. Lo strato superficiale delle nuove tessere è totalmente vetroso, il corpo, invece, è per entrambe le tessere caratterizzato dalla frazione vetrosa e da quella cristallina.

1.2 Stratigrafia del rivestimento di facciata.

Relativamente alla conservazione delle facciate, le operazioni di ripristino dei rivestimenti esistenti in mosaico vetroso sono state precedute da una prima fase diagnostica, costituita da test effettuati in cantiere e da analisi di laboratorio, per mezzo dei quali è stato possibile determinare la stratigrafia del rivestimento stesso, che può essere schematizzata come segue:

- *struttura portante in calcestruzzo armato*;
- strato di calcestruzzo spesso alcuni centimetri, realizzato al fine di eliminare i "fuori piombo", definito nel seguito "calcestruzzo di regolarizzazione";
- intonaco di spessore 1-2 cm realizzato per poter effettuare la posa del mosaico di vetro, nel seguito individuato con il termine "malta di posa";
- "pastina superficiale" spessa qualche millimetro nella quale sono state inglobate le tessere del mosaico vetroso;
- tessere di mosaico vetroso del rivestimento.

1.2.1 La caratterizzazione elasto-meccanica degli strati.

Per poter determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei calcestruzzi e delle malte in facciata, sono stati prelevati campioni mediante carotaggi.

Struttura portante in calcestruzzo armato

A causa degli esigui spessori dei vari strati è stato possibile effettuare la prova di schiacciamento per la determinazione della resistenza meccanica a compressione soltanto su 4 carote e solo per il calcestruzzo della struttura portante in c.a. I risultati in termini di resistenza meccanica a compressione e massa volumica, unitamente alla velocità di propagazione delle onde ultrasoniche e al relativo valore stimato per il modulo elastico dinamico, sono riportati in Tab. 1.

I dati di resistenza a compressione (R_{cub}) indicano per il conglomerato della struttura in calcestruzzo armato una qualità elevata se si tiene conto che il valore minimo è risultato pari a $38,2 \text{ N/mm}^2$ e in un caso è stata registrata una R_{cub} di 66 N/mm^2 . L'eccellente qualità del calcestruzzo della struttura è stata, inoltre, confermata dai valori della velocità di propagazione delle onde ultrasonore, che sono risultati tutti superiori a 4000 m/s , limite oltre il quale generalmente si assume per il conglomerato l'assenza di fessure, macrovuoti ed in generale di difetti di compattazione. Il modulo elastico dinamico, infine, mediamente di circa 37650 N/mm^2 , è risultato congruente con i dati di R_{cub} .

Strato in calcestruzzo di regolarizzazione

Non è stato possibile effettuare prove di schiacciamento a causa degli esigui spessori del calcestruzzo di regolarizzazione. Pertanto, al fine di caratterizzare il conglomerato sono state eseguite analisi per diffrazione dei raggi X, prove di assorbimento d'acqua, quale test per la valutazione della porosità aperta del materiale, e di velocità di propagazione delle onde ultrasonore (Tab.2).

Come si può notare, i dati sulla velocità di propagazione delle onde sonore, tutti superiori a 4000 m/s , indicano che il calcestruzzo di regolarizzazione in termini di compattezza, assenza di fessure e di macrovuoti per difetti di compattazione, deve ritenersi sostanzialmente equivalente al conglomerato della struttura in calcestruzzo armato. L'eccellente qualità in termini fisici ed elasto-meccanici, ed in particolare l'assenza di macrovuoti e di porosità significative, è stata indirettamente confermata dai valori di assorbimento d'acqua. Essi, infatti, sono risultati tutti inferiori al 4.3% indicando, quindi, che la matrice cementizia è costituita da una ridotta porosità aperta se si tiene conto che per calcestruzzi scadenti l'assorbimento di acqua può risultare anche superiore all'8-10%. Peraltro, queste eccellenti proprietà sono state suffragate dall'assenza di fenomeni di degrado chimico in atto, come confermato dalle analisi per diffrazione dei raggi X che hanno escluso la presenza di sostanze derivanti da reazioni chimiche deleterie per il conglomerato.

Malta di posa

Le analisi per diffrazione dei raggi X hanno evidenziato l'assenza di

sostanze degradanti e la presenza di soli costituenti "fisiologici", quali quarzo, feldspati, biotite e clorite. Le analisi hanno confermato, inoltre, la presenza di carbonato di calcio in misura superiore al 30% e l'assenza di calce idrata, confermando che la malta di posa risulta di tipo "bastardo" (calce/cemento) e si presenta completamente carbonatata.

Pastina superficiale

Questa pastina è risultata costituita prevalentemente da cemento e calce. Inoltre, le prove di diffrazione dei raggi X hanno rilevato la presenza di gesso probabilmente da ascrivere ad una parziale "solfatazione" del materiale cementizio per effetto del contatto con l'atmosfera ed in particolare con l'anidride solforosa.

1.2.2 I dissesti prevalenti.

Le indagini in cantiere hanno denotato che i dissesti presenti sul rivestimento di facciata si manifestavano in forme differenti, sebbene le più ricorrenti riguardassero:

1) il completo distacco della malta di posa e,



Foto 4. Completo distacco della "malta di posa" e, quindi, del rivestimento vetroso lasciando in vista il "calcestruzzo di regolarizzazione".

Foto 5. Distacco parziale della "malta di posa" dal sottostante "calcestruzzo di regolarizzazione" senza evidenziare il "crollo" del rivestimento in mosaico vetroso.



quindi, del rivestimento vetroso lasciando in vista il calcestruzzo di regolarizzazione (foto 4);
2) il distacco delle sole tessere di mosaico dalla "pastina superficiale";
3) il distacco parziale della malta di posa dal sottostante calcestruzzo di regolarizzazione senza evidenziare il "crollo" del rivestimento in mosaico vetroso (foto 5).

Quest'ultima tipologia di dissesto si manifestava evidenziando in alcune zone soluzioni di continuità dell'ordine del decimo di millimetro. In altre situazioni, invece, il distacco era così accentuato che, sia pur senza denotare il "crollo" del



Foto 6. Iniezione di resina epossidica Epojjet LV. Realizzazione dei fori di iniezione (diametro dei fori: 10mm; profondità: 30 mm - in modo da intercettare la soluzione di continuità tra malta di posa e calcestruzzo di regolarizzazione). Pulizia dei fori con aria compressa. Posizionamento all'interno dei fori del tubetto d'iniezione e del tubetto spia. Iniezione di resina epossidica.

Foto 7. Test di adesione effettuati mediante dinamometro torsionale.

rivestimento in mosaico, presentava dei vuoti di spessore centimetrico tra la "malta di posa" e il "calcestruzzo di regolarizzazione".

Fatto salvo qualche situazione locale, che costituisce l'eccezione, in nessun caso si è rilevato:

- il distacco del calcestruzzo di regolarizzazione della struttura portante;
- il distacco della pastina dalla malta di posa.

L'indagine, quindi, ha evidenziato come il punto debole del sistema fosse, nella quasi totalità dei casi, rappresentato dall'interfaccia malta di posa/cls di regolarizzazione.

1.3 Le tecniche di intervento.

1.3.1 Le iniezioni (prove di campo e verifiche).

Al fine di determinare la tecnica di ripristino per l'eliminazione della tipologia di dissesto più diffusa (distacco parziale della malta di posa dal sottostante calcestruzzo di regolarizzazione senza evidenziare il "crollo" del rivestimento in mosaico vetroso), sono stati condotti test in cantiere che hanno previsto l'iniezione di EPOJET LV*, sistema epossidico a bassissima viscosità (140 mPa·s), in due zone denominate ZONA A e ZONA B.

L'intervento di iniezione è stato effettuato con pompa a motore pneumatico a doppia membrana, avente pressione massima di 8 bar e portata di 5 litri/min (nelle zone distaccate di piccola estensione le iniezioni sono state effettuate con una siringa), e si è articolato nelle seguenti fasi (foto 6):

1. realizzazione di due fori di diametro 10 mm fino ad una profondità superiore a 3 cm, in modo da intercettare la soluzione di continuità presente tra malta di posa e calcestruzzo di regolarizzazione;
2. pulizia dei fori con aria compressa alla pressione di 7-8 bar;
3. inserimento nei fori del tubetto di iniezione e

del tubetto spia a una profondità di circa 1 cm e sigillati con EPORIP TURBO*, resina poliesteri bicomponente a rapido indurimento;

4. iniezione di aria compressa alla pressione 4-5 bar per accertare che il circuito di iniezione fosse completamente aperto tra i due fori;

5. miscelazione dei due componenti della resina epossidica a bassa viscosità EPOJET LV* e iniezione nel tubetto posto in basso fino alla fuoriuscita dal tubetto spia posto nella parte alta, alla pressione di 0,5-2,5 bar.

Dopo 7 giorni sono state eseguite prove di adesione mediante un "dinamometro manuale" (foto 7). Nelle Tab. 3 e 4 vengono riportati i risultati delle prove di strappo.

Le prove hanno evidenziato come la "crisi" potesse avvenire quasi esclusivamente o nello strato di adesivo che lega il rivestimento alla malta di posa o nel calcestruzzo di regolarizzazione, confer-



Tabella 3. Risultati delle prove di adesione effettuate nella ZONA A.

Prova n°	Forza max (KN)	Adesione (N/mm²)	Tipo di rottura
2A	5,1	2,0	Rottura "pastina" del mosaico
2B	>9	>3,6	Rottura calcestruzzo di regolarizzazione
2C	>9	>3,6	Rottura "pastina" del mosaico
2D	7,6	3,0	Rottura calcestruzzo di regolarizzazione

Tabella 4. Risultati delle prove di adesione effettuate nella ZONA B.

Prova n°	Forza max (KN)	Adesione (N/mm²)	Tipo di rottura
3B	>9	>3,6	Rottura calcestruzzo di regolarizzazione
3C	7,7	3,1	Rottura "pastina" del mosaico

mando l'efficacia del sistema epossidico scelto (EPOJET LV), che oltre a sigillare le soluzioni di continuità, è stato in grado anche di penetrare all'interno della matrice cementizia per circa 3 mm contribuendo ad una migliore ricomposizione della monoliticità degli elementi di facciata (foto 8); EPOJET LV* è caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- viscosità Brookfield: 140 mPa.s
- adesione al calcestruzzo: >3,5 N/mm²
- resistenza a flessione: 20 N/mm²
- modulo elastico: 1100-1800 N/mm²

Si tratta di un sistema epossidico privo sia di cariche che di solventi, caratterizzato da una viscosità decisamente più bassa di quella dei tradizionali sistemi epossidici utilizzati nel settore dell'edilizia e, a maggior ragione, con caratteristiche di fluidità assolutamente non paragonabili a quelle delle sospensioni cementizie. Inoltre, il valore di resistenza a trazione per flessione del sistema (20 N/mm²), essendo di gran lunga maggiore di quello (3-10 N/mm² massimo) che può garantire un qualsiasi sistema cementizio (anche di alte prestazioni), è ulteriore fattore di maggior sicurezza del grado di adesione tra gli strati.

A seguito di questi test preliminari, il sistema iniettante con resina epossidica è stato quindi scelto per il ripristino dell'intera facciata del grattacielo, in quelle zone ove era prevalente il problema del distacco della malta di posa dal calcestruzzo di regolarizzazione.

1.3.2 Gli incollaggi parziali.

Laddove si è verificato il distacco delle sole tessere di mosaico dalla "pastina superficiale" utilizzata per la posa, l'intervento di ripristino è con-

Foto 8. Sezione di un campione consolidato. Da destra a sinistra si trovano: le tessere, la "pastina", l'intonaco e il calcestruzzo di regolarizzazione.



Foto 9. Lisciatura del getto in calcestruzzo con ADESILEX P4.

sistito nell'incollaggio delle tessere nuove, con ADESILEX P10* miscelato con ISOLASTIC* diluito in rapporto 1:1 con acqua, adesivo cementizio ad alte prestazioni, resistente allo scivolamento e con tempo aperto allungato, deformabile, di classe C2TE secondo la norma EN 12004 e di classe S1 secondo la norma EN 12002.

1.3.3 Il rifacimento degli intonaci e la posa del nuovo mosaico.

Per la risoluzione, invece, della tipologia di dissesto in facciata caratterizzata dal distacco completo della malta di posa dal calcestruzzo di regolarizzazione, si è deciso di realizzare un intonaco cementizio, impiegando NIVOPLAN* miscelato con acqua e 2 kg di PLANICRETE* per sacco, malta livellante per pareti con elevata capacità di adesione al supporto (valori di adesione > 2,5 N/mm² dopo 28 gg), resistenza a flessione elevata (8 N/mm²), per ridurre il rischio di fessurazione e modulo elastico prossimo a quello degli intonaci normalmente usati in facciata. Si è quindi proceduto alla posa delle nuove tessere di mosaico utilizzando KERAQUICK* miscelato con LATEX PLUS* diluito 1:1 con acqua, adesivo cementizio ad alte prestazioni, resistente allo scivolamento e a presa rapida, altamente deformabile, di classe C2FT secondo la norma EN 12004 e di classe S2 secondo la norma EN 12002.

La scelta di un adesivo diverso rispetto a quello utilizzato per la posa delle singole tessere staccatesi dalla "pastina superficiale" si è resa necessaria perchè questo tipo di intervento è stato effettuato nella stagione invernale, quando le temperature durante la notte scendevano anche sotto lo

zero e c'era il rischio che, utilizzando un adesivo a presa normale, nelle ore notturne l'acqua d'impasto potesse gelare, compromettendo quindi la corretta idratazione dell'adesivo. Di conseguenza, è stato scelto un adesivo a presa ed idratazione rapida, caratterizzato inoltre da un'elevata deformabilità, indispensabile per la posa in facciata su grandi altezze. Per ovviare ai problemi sopra descritti e per facilitare le operazioni di posa, inoltre, i piani del ponteggio sul quale si stava lavorando sono stati chiusi ermeticamente mediante il posizionamento di lastre di materiale isolante e scaldati immettendo aria calda dal basso, al fine di mantenere una temperatura costante di circa 5°C.

Sia nel caso descritto in questo paragrafo che in quello del paragrafo precedente, la stuccatura delle fughe tra le tessere è stata effettuata con ULTRACOLOR*, malta ad alte prestazioni, di classe CG2 secondo la norma EN 13888.

2. L'esecuzione delle pavimentazioni esterne.

Nell'ambito dell'intervento di recupero del Grattacielo Pirelli si è anche provveduto al rifacimento della pavimentazione del piazzale antistante l'edificio.

La nuova pavimentazione, in piastrelle di gres porcellanato e quadrotte di gomma "attacco cemento", è stata posata su un sottofondo in calcestruzzo. Dopo avere provveduto ad effettuare riparazioni localizzate del fondo mediante utilizzo di PLANITOP 400*, malta cementizia tissotropica a ritiro compensato, a presa rapida (resistenza a compressione Rc > 45 N/mm², resistenza a flessione Rf > 7N/mm², modulo elastico dinamico E > 24000-28000 N/mm²), è stata eseguita una lisciatura del getto (foto 9) con ADESILEX P4*, malta a presa rapida (Rc =14 N/mm², Rf > 5 N/mm²).

La posa delle piastrelle in gres porcellanato è stata effettuata con KERAFLEX*, adesivo cementizio ad alte prestazioni, resistente allo scivolamento e con tempo aperto allungato, di classe C2TE secondo EN 12004. La posa della gomma attacco cemento, invece, è stata effettuata con GRANIRAPID*, adesivo cementizio bicomponente ad alte prestazioni, a presa rapida, di classe C2F secondo EN 12004, provvedendo a stendere la colla sia sul supporto che sul retro delle quadrotte.

3. L'esecuzione delle pavimentazioni interne.

Per quanto attiene le pavimentazioni all'interno dell'edificio, allo stato attuale sono già state posate quelle dell'auditorium e della hall antistante,



rispettivamente in quadrotte di gomma autoposante ed in marmo di Carrara (foto 10). Sono attualmente in corso i test preliminari di cantiere per la determinazione delle tecniche di ripristino o di rifacimento dei sottofondi delle pavimentazioni in tutti i restanti piani del grattacielo, dove verranno posati gomma, linoleum e legno.

3.1 La posa del marmo di Carrara: stabilità dimensionale e macchiatura.

La nuova pavimentazione all'ingresso della sala congressi, in lastre di marmo di Carrara, è stata posata con KERAQUICK*, adesivo cementizio ad alte prestazioni, a presa rapida e resistente allo scivolamento, di classe C2FT secondo EN 12004. La scelta di un adesivo a presa rapida è stata dettata dalla consapevolezza che i materiali lapidei

naturali ed artificiali possono subire notevoli imbarcamenti e/o dilatazioni in presenza di umidità o per effetto di gradienti termici; essi, inoltre, in presenza di acqua proveniente dal sottofondo, possono macchiarsi e/o presentare antiestetiche efflorescenze.

Nel caso specifico del marmo di Carrara, questo risulta dimensionalmente stabile ma presenta il problema delle macchiature da ascrivere alla presenza nel materiale lapideo di sostanze (principalmente minerali ferrosi) che possono essere disciolte dalla soluzione acquosa proveniente dall'adesivo o dalla malta di sabbia e cemento utilizzata per la posa con la tecnica tradizionale; queste sostanze, trasportate sulla superficie del materiale lapideo, per effetto dell'azione dell'ossigeno e della luce, si ossidano determinando il deturpamento estetico del rivestimento.

Per la risoluzione di questa problematica, nel grattacielo Pirelli la posa del marmo di Carrara è stata effettuata dopo avere accertato l'assenza di risalte di umidità dal sottofondo e che il massetto avesse un'umidità residua al di sotto dei valori non pericolosi per la formazione delle antiestetiche macchie ed efflorescenze. Inoltre, la posa è stata effettuata utilizzando un adesivo rapido (KERAQUICK*), in quanto l'elevata velocità di idratazione del legante che lo costituisce, consente di limitare - in poche ore - il contenuto di umidità nell'adesivo a valori tali da non promuovere la formazione di macchiature sulle lastre del materiale lapideo posato (foto 10).

4. Il consolidamento statico delle strutture in calcestruzzo armato.

Il giorno 18 aprile 2002 alle ore 17,47 un monomotore Commander 112 Tc ha colpito la facciata del grattacielo Pirelli su Piazza Duca d'Aosta, tra l'impalcato del 26° piano e quello del 27° piano, praticamente sulla mezzera dell'edificio, penetrando all'interno. In seguito all'urto, il motore dell'aereo si è separato dalla fusoliera, fuoriuscendo dalla facciata di via Fabio Filzi, e i due serbatoi, posizionati in prossimità delle ali, sono esplosi. Di conseguenza, si è aperto uno squarcio nella facciata e si è attivato un incendio con una vistosa colonna di fumo uscente dall'edificio.

Dopo essere penetrato attraverso la facciata dell'edificio su piazza Duca d'Aosta, il velivolo, già frenato dall'urto contro la facciata, ha definitivamente interrotto il suo moto con l'urto delle ali contro i vani tecnici. Sul pavimento dell'impalcato del 26° piano non si sono rilevati danni sostanziali. Tuttavia, l'onda prodotta dalla sovrappressione che si è generata all'interno, innescata dall'esplosione dei serbatoi, ha provocato vistose deformazioni verso il basso dell'impalcato del 26° piano e verso l'alto di quello del 27° piano.

Il progetto di risanamento ha quindi previsto il recupero statico delle travi della zona centrale degli impalcati dei piani 26° e 27°, danneggiati a seguito dell'impatto del velivolo.

Di fronte alla vistosa deformazione, si è previsto, innanzitutto il riallineamento dell'impalcato mediante una sua "forzatura", controllata in termini di forze, e, successivamente, una volta ricostruite le sezioni danneggiate e sigillate le fessure, si è dovuto restituire l'originaria portanza alle strutture danneggiate, mediante una coazione prodotta da cavi esterni post-tesi e placcaggio dell'intradosso delle travi e di parti della soletta mediante materiali compositi in fibre di carbonio CFRP (foto 11).

4.1 Preparazione del substrato.

Le operazioni di placcaggio sono state precedute da interventi di ripristino del calcestruzzo danneggiato: le fessurazioni sono state sigillate con EPOJET*, adesivo epossidico (viscosità Brookfield 380 mPa·s, adesione al calcestruzzo > 3 N/mm²) iniettato a bassa pressione attraverso tubicini collocati ai lati delle lesioni.

E' stata quindi effettuata la passivazione delle armature scoperte mediante stesura sui ferri, precedentemente sabbati e puliti, di MAPEFER*, trattamento protettivo rialcalinizzante (adesione al calcestruzzo > 2,5 N/mm², adesione all'acciaio sabbato > 2,5 N/mm², ottima resistenza alla nebbia salina dopo 120 h secondo DIN 50021).

La ricostruzione delle sezioni di calcestruzzo degradate è stata effettuata mediante getto entro cassero di betoncino autocompattante a stabilità volumetrica e ad alta resistenza meccanica confezionato con STABILCEM SCC* e GHIAIETTO* 0-8 (spandimento 71 cm, resistenza a compressione dopo 28 gg Rc > 49, resistenza a flessione dopo 28 gg Rf > 6 N/mm²,

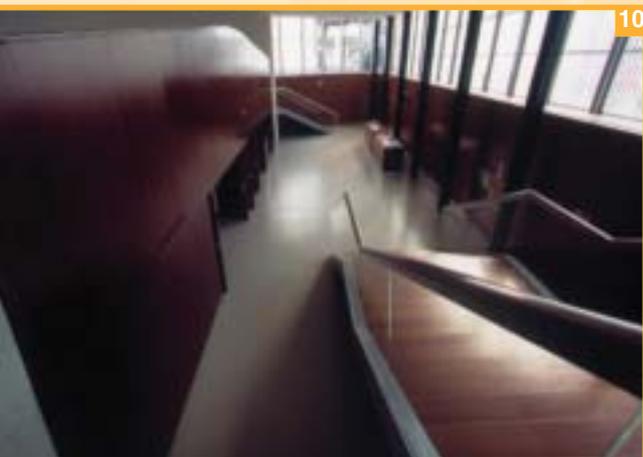


Foto 10.
Posa di marmo di Carrara effettuata con Keraquick bianco.



Foto 11.
Particolare dei cavi di post-tensione e del rinforzo della soletta con Carboplate E170/50.

Foto 12.
Rinforzo della soletta.



modulo elastico dinamico $E=25000 \text{ N/mm}^2$).

4.2 Applicazione delle lamine in CFRP.

Una volta terminati gli interventi di ripristino del calcestruzzo degradato, il rinforzo strutturale delle travi e dell'intradosso delle solette è stato effettuato mediante applicazione di lamine pultruse in fibre di carbonio.

Le modalità di applicazione delle lamine sono le seguenti:

1. pulizia accurata del sottofondo mediante sabbiatura, idrosabbiatura o semplice spazzolatura in modo da eliminare dal calcestruzzo ogni parte friabile ed incoerente;
2. applicazione a pennello o a rullo di MAPE-WRAP PRIMER*, primer bicomponente a base di resine epossidiche esente da solventi (viscosità: $300 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, adesione al calcestruzzo $>3 \text{ N/mm}^2$), atto a consolidare le superfici in calcestruzzo prima dell'applicazione delle lamine in fibre di carbonio;
3. applicazione di uno strato uniforme di 1-1,5 mm di spessore di resina epossidica ADESILEX PG1* su un lato della lamina pultrusa dopo avere rimosso la pellicola protettiva;
4. stesura di uno strato di ADESILEX PG1* anche sul sottofondo sul quale si deve incollare la lamina;
5. posa della lamina pultrusa in fibre di carbonio CARBOPATE E170/50* (foto 12) esercitando una pressione costante su tutta la sua estensione con un rullino di gomma rigida ed eliminazione della resina in eccesso con una spatola;
6. applicazione in spessore uniforme sulla lamina di adesivo epossidico a media viscosità per potere procedere alla sabbiatura della superficie qualora la si voglia intonacare.

5. Conclusioni.

L'intervento di restauro del Grattacielo Pirelli ha riguardato principalmente il ripristino del rivestimento di facciata, il rifacimento delle pavimentazioni esterne ed interne, nonché l'adeguamento statico delle travi e delle solette dei piani XXV e XXVI impattate a seguito dell'incidente aereo del 18 aprile 2002.

Sono state descritte le attività di diagnostica effettuate in fase preliminare, aventi lo scopo di definire le tecniche di restauro ed i materiali da utilizzare al fine di preservare ed integrare le parti autentiche esistenti del rivestimento in mosaico di facciata. Per il rifacimento delle pavimentazioni, ed in particolare per la posa dei nuovi rivestimenti, particolare attenzione è stata rivolta alla scelta degli adesivi. Il recupero funzionale delle strutture impattate del Grattacielo, infine, è stato realizzato mediante il rinforzo con cavi post-tesi, ai quali è stata affidata la portanza ai carichi permanenti ed accidentali, ed il placcaggio con lamine pultruse in materiali in fibre di carbonio, ai quali è stata invece affidata la portanza ai carichi eccezionali.

In questo momento sono in corso i lavori all'interno per il consolidamento dei sottofondi e la posa dei resilianti in sostituzione di quelli originali (foto 13).



13

Questi lavori si sviluppano su tutti i piani del Pirelli e si prevede che termineranno nel 2005. Durante quest'anno pubblicheremo un resoconto dettagliato dell'intervento.

RM

SCHEDA TECNICA

Grattacielo Pirelli, Milano

Intervento: conservazione dei rivestimenti in facciata in mosaico vetroso, realizzazione delle pavimentazioni interne ed esterne e adeguamento statico delle strutture in calcestruzzo armato.

Anno di costruzione: 1956 - 1960

Anno d'intervento: 2002 - 2004

Impresa appaltatrice: Grassi & Crespi Srl. e Marcora Srl.

Coordinamento Mapei: Andrea Aliverti, Tiziano Cerulli, Luigi Coppola, Fulvio Bianchi, Paolo Giglio, Massimiliano Nicastro e Matteo Venturini.

***Prodotti Mapei:** i prodotti citati in questo articolo appartengono alle linee "Prodotti per ceramica e materiali lapidei" e "Prodotti per edilizia". Le relative schede tecniche sono contenute nel CD "Mapei Global Infonet" e nel sito internet www.mapei.com. Gli adesivi e le fugature Mapei sono conformi alle norme EN 12004 ed EN 13888.

Adesilex P4 (C2F): adesivo cementizio ad alte prestazioni, autobagnante, a presa rapida per piastrelle ceramiche e materiale lapideo.

Adesilex P10 (C2TE): adesivo cementizio bianco ad alte prestazioni, a scivolamento verticale nullo e con tempo aperto allungato, per rivestimenti in mosaico vetroso, ceramico e di marmo.

Adesilex PG1: adesivo epossidico a consistenza tissotropica per incollaggi strutturali.

Carboplate: lamina pultrusa in fibre di carbonio preimpregnata con resina epossidica, protetta da una doppia pellicola di plastica.

Epojet: resina epossidica bicomponente superfluida per iniezioni.

Epojet LV: resina epossidica bicomponente, a bassissima viscosità, per l'iniezione in microfessure.

Eporip Turbo: resina poliesteri bicomponente a rapidissimo indurimento.

Granirapid (C2F): adesivo cementizio bicomponente ad alte prestazioni, a presa ed idratazione rapida, per piastrelle ceramiche e materiale lapideo.

Isolastic: lattice elasticizzante da miscelare con Kerabond, Kerafloor e Adesilex P10.

Keraquick (C2FT, classe S2 con Latex Plus secondo norma EN 12002): adesivo cementizio ad alte prestazioni, a presa rapida e scivolamento verticale nullo, per piastrelle ceramiche e materiale lapideo.

Keraflex (C2TE): adesivo cementizio ad alte prestazioni a scivolamento verticale nullo e con tempo aperto allungato, per piastrelle in ceramica e materiale lapideo.

Latex Plus: lattice elasticizzante da miscelare con Keraquick.

Mapefer: malta cementizia anticorrosiva bicomponente per la protezione dei ferri di armatura.

MapeWrap Primer 1: primer epossidico specifico per il sistema MapeWrap.

Nivoplan: malta livellante per pareti e soffitti all'interno e all'esterno.

Planicrete: lattice di gomma sintetica per impasti cementizi.

Planitop 400: malta tissotropica a ritiro compensato a presa rapida per il ripristino corticale e la finitura del c.a. applicabile in spessore variabile da 1 a 40 mm in una sola mano.

Stabilcem SCC: legante cementizio per confezionare betoncini e calcestruzzi autocompattanti a stabilità volumetrica, da impiegarsi per il ripristino di strutture in calcestruzzo.

Ultracolor (CG2): malta ad alte prestazioni per la stuccatura di fughe da 2 a 20 mm, a presa ed asciugamento rapido, disponibile in 26 colori; non produce efflorescenze.

