

Il materiale **resistente** per antonomasia

La proprietà di indurire rapidamente anche nell'acqua è la principale caratteristica che contraddistingue i materiali cementizi impiegati nell'edilizia. Già nel III secolo a.C., i romani utilizzavano il lapis puteolanus (la pozzolana), per ottenere il betunium, un materiale che, impastato con calce comune e frammenti di pietra o di cotto, si rivelava particolarmente idoneo alla fabbricazione delle opere di fondazione, delle murature di grosso spessore e, in generale, di tutti i manufatti a contatto o sommersi nell'acqua.

In epoca moderna, i primi tentativi di produrre il cemento risalgono al Settecento, grazie alle scoperte di Smeaton e, in seguito, di Parker, circa le particolari proprietà di presa rapida di alcune pietre calcaree argillose, opportunamente calcinate. Ma solo al 1824 si può fare risalire l'inizio della produzione del cemento, inteso nel senso che conosciamo, quando l'inglese Joseph Aspdin brevettò il Portland, una polvere finissima ottenuta dalla cottura e dalla successiva macinazione di una miscela di calcari e sostanze argillose, che impastata con l'acqua dava luogo, in breve tempo, a una massa dura molto simile, appunto, alla pietra dell'isola di Portland. Si trattava in realtà ancora di un prodotto artigianale e piuttosto empirico; solo vent'anni dopo, in seguito alle scoperte di Isaac Charles Johnson

“
I materiali
cementizi
si sono sempre
differenziati
dagli altri per
la proprietà
di indurire
rapidamente
anche in acqua
e oggi cemento
e cemento
armato sono
il simbolo della
resistenza e
della **solidità**.
”



sull'importanza delle modalità della cottura e agli studi di Le Chatelier e Michaelis sulla composizione chimica e sul dosaggio delle materie prime, si potrà dare inizio a una produzione industriale del cemento Portland.

Le TIPOLOGIE di prodotto

Il **cemento Portland**, definito anche cemento idraulico normale, è il tipo più diffusamente utilizzato nelle opere edili. La versione naturale, ottenuta dalla cottura a temperatura elevata (1400-1500°C) di una miscela di marne naturali, ossia di pietre calcaree che contengono



■ **In taluni stili architettonici** l'aspetto estetico del cemento a vista riveste una notevole importanza, richiedendo l'adozione di componenti particolari o di lavorazioni superficiali. Nelle immagini esempi di architetture liberty e neoclassiche nel centro di Milano.

percentuali idonee di silice, allumina e ossidi di ferro e dalla successiva macinazione del 'clinker' prodotto, è oggi quasi integralmente sostituita dal Portland artificiale, che viene realizzato in modo analogo ma partendo da una miscela di calcare e argilla. Le proprietà del materiale, in ogni caso, dipendono dai composti che si formano nel corso della cottura; in particolare, dal silicato tricalcico ($3\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$) e dal silicato bicalcico ($2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$) che insieme costituiscono circa i 4/5 del totale. Al silicato tricalcico si deve la resistenza meccanica elevata che il materiale sviluppa rapidamente, insieme a una sensibile produzione di calore; successiva-

mente, il silicato bicalcico migliora ancora la resistenza, ma producendo una minore quantità di calore. Poiché un'eccessiva emissione di calore può causare, durante la fase di ritiro, la formazione di fessure, è opportuno, per i getti in grandi masse, l'impiego di cementi più ricchi in silicato bicalcico.

I **cementi bianchi** sono dei Portland ottenuti dalla cottura di marne prive di ossidi di ferro e di manganese, responsabili del colore grigiastro del cemento normale, o da caolini e calcari bianchi mineralogicamente puri. L'indice di bianchezza può, tuttavia, essere ottenuto anche per altra via, aggiungendo degli elementi che favoriscono la modificazione della cristallizzazione del ferro, come il boro, il titanio e il vanadio, o iniettando, durante la cottura, delle soluzioni acquose ricche di cloruro di calcio. Accanto al tipo normale esiste il cemento bianco ad alta resistenza, che viene impiegato generalmente per le opere che richiedono un'elevata resistenza meccanica e dei valori estetici particolari: per i manufatti in pietra artificiale, gli stucchi colorati, gli intonaci, le piastrelle policrome di cemento e le strutture in vetro-cemento.

Miscelando, in fase di produzione industriale o in cantiere, delle polveri colorate e del gesso al cemento bianco, si ottengono i **cementi colorati**. Naturalmente, la manifattura industriale garantisce una maggiore

omogeneità del prodotto che può rivelarsi irrinunciabile nel caso delle grandi campiture. I coloranti utilizzati, soprattutto pigmenti minerali e carboniosi resistenti alle azioni alcaline e stabili alla luce, non possono essere additivati in percentuali maggiori al 10%, per evitare che si verifichino delle modificazioni meccaniche negative nell'impasto.

Il **cemento pozzolanico** si distingue dal precedente per due caratteristiche principali: durante le fasi di presa e di ritiro sviluppa meno calore e richiede un tempo maggiore per raggiungere le caratteristiche finali di resistenza; tuttavia, le malte e i calcestruzzi che se ne ottengono presentano maggiori proprietà in relazione a impermeabilità e resistenza all'aggressione umida. Si ottiene miscelando la polvere di clinker di cemento Portland con della pozzolana naturale o artificiale (nella misura del 30%) e del gesso. La sua somiglianza alle pozzolane romane antiche ne fa un ottimo materiale per il restauro statico delle murature storiche.

Il **cemento ferrico pozzolanico** è una versione del precedente in cui la resistenza chimica viene migliorata grazie all'impiego di un clinker ad alto contenuto di acido ferrico, che va a scapito dell'allumina. I manufatti prodotti con questo legante sono caratterizzati da un'elevata resistenza alle acque ricche di solfati, caratteristica particolarmente importante in presenza di ambienti inquinati.



La tecnologia del cemento armato, che coniuga le proprietà del cemento a quelle del metallo, ha risolto brillantemente il principale handicap delle strutture in cemento: la resistenza a trazione scarsa o quasi nulla.



Il **cemento d'altoforno** viene prodotto dalla macinazione e miscelazione di loppe basiche d'altoforno con clinker puro di cemento; come il Portland, trova impiego universale, ma è particolarmente adatto ai manufatti soggetti all'azione delle acque salmastre o posti in ambienti marini.

I **cementi alluminosi o fusi** sono caratterizzati da un maggiore tenore di allumina, offrono una presa lenta a fronte di un indurimento rapidissimo, che li rende particolarmente adatti ai lavori di consolidamento e di riparazione. Presentano, inoltre, eccezionali resistenze alle acque marine e all'attacco dei solfati e dei cloruri.

Con l'entrata in vigore delle normative sul recupero dei rifiuti non pericolosi (DM 5/2/98), per la produzione dei cementi possono essere utilizzate anche altre sostanze, come le scorie provenienti dall'industria metallurgica dei metalli non ferrosi, i rifiuti ceramici, i calchi in gesso esausti, gli oli densi a base minerale, la lanolina, i fanghi dell'industria cartaria... Durante la fase di cottura, queste sostanze non dovrebbero produrre composti dannosi per il cemento, tuttavia non esistono ancora dati certi sulle eventuali influenze ne-

Nel **1824** l'inglese **Joseph Aspdin** brevettò il **Portland**, una polvere finissima ottenuta dalla cottura e dalla macinazione di una miscela di calcari e sostanze argillose, che impastata con l'acqua dava luogo a una massa dura molto simile, appunto, alla pietra dell'**isola di Portland**.

gative nel corso della vita utile dei manufatti.

MALTE e CONGLOMERATI CEMENTIZI

Impastando i vari tipi di polvere di cemento con sabbia e acqua si ottengono le **malte cementizie**. Questi prodotti sono caratterizzati dallo sviluppo, estremamente rapido nel tempo, di resistenze meccaniche nettamente superiori rispetto a quelle offerte dalle malte a calce, di tipo aereo o idraulico. Generalmente, la presa, cioè la perdita di plasticità, ha inizio entro 1 ora dalla lavorazione

Il fenomeno della **carbonatazione** costituisce la più diffusa patologia dei manufatti in cemento armato.





Particolare corrosione dei ferri di armatura di una colonna in cemento armato. L'espansione del ferro attaccato dalla ruggine provoca la distruzione e il distacco delle porzioni di conglomerato cementizio circostanti.

dell'impasto e può terminare in un periodo di tempo che varia da un minimo di 4 a un massimo di 12 ore. Inoltre, le malte cementizie sono caratterizzate da buona impermeabilità e da resistenza agli ambienti aggressivi; per contro, presentano una bassa lavorabilità che può essere migliorata ricorrendo alle cosiddette "malte bastarde", ottenute aggiungendo alla miscela della calce idrata, fino a un massimo del 20%. Dosaggi maggiori andrebbero a scapito delle resistenze finali del manufatto.

Aggiungendo alla miscela preparata per confezionare una malta della ghiaia o del pietrisco, in determinati rapporti di peso e volume, si ottiene il **conglomerato cementizio o calcestruzzo**. Il prodotto finito presenta caratteristiche di resistenza alla compressione praticamente pari a quelle delle migliori pietre naturali, ma resistenze a trazione molto inferiori (circa 1/10 rispetto alla resistenza a compressione). La qualità del manufatto dipende, comunque, dalla qualità degli inerti utilizzati, che pur non partecipano ai processi chimici di presa e di indurimento, dalla loro composizione granulometrica e dal rapporto acqua/cemento. Gli aggregati devono essere privi di polveri ed elementi friabili, devono presentare

una resistenza adeguata, provenire da rocce compatte non gelive e non solfatiche, non devono contenere cloruri, solfati, argille o residui organici. Infine, dovrebbero venire utilizzati con una curva granulometrica completa, senza predominanti fini o grosse, in grado di realizzare una pasta compatta e facilmente lavorabile.

In genere, la qualità del calcestruzzo è inversamente proporzionale alla quantità d'acqua aggiunta e gli impasti più "asciutti" presentano le resistenze meccaniche più elevate. Tuttavia, la lavorabilità migliora con l'aggiunta dell'acqua, anche se questo limite è oggi in parte superato grazie alla disponibilità degli additivi "fluidificanti".

Il limite più evidente dei conglomerati di cemento è la scarsa resistenza a trazione, che li rende non adatti alla realizzazione di strutture inflesse e tese. Tuttavia, questo handicap è stato brillantemente superato con l'invenzione del **cemento armato**, una struttura mista ferro-cemento, in grado di resistere agli sforzi di flessione, compressione, trazione e taglio. Le due proprietà, che permettono e ottimizzano la collaborazione tra i due materiali, sono: l'aderenza fisica che si crea naturalmente tra essi e che permette di trasferire

le tensioni da un materiale all'altro e i coefficienti di dilatazione termica, che sono praticamente uguali.

Nella pratica attuale, l'aderenza può venire ulteriormente migliorata adottando delle barre di acciaio corrugate, denominate appunto "ad adherenza migliorata", o predisponendo delle reti elettrosaldate che, nell'ambito del restauro, si rivelano particolarmente indicate per il consolidamento dei solai e delle volte e per il rinforzo delle pareti, e che sono anche utili per evitare i fenomeni fessurativi, successivi all'intervento. Le strutture in cemento armato presentano in generale una buona impermeabilità all'acqua, che risulta maggiore in quelli più compatti, ossia confezionati con basse percentuali di acqua, ricchi in cemento e stagionati in ambiente umido. Quando l'armatura metallica risulta protetta da uno strato di copriferro (ossia di conglomerato cementizio) pari a 2-3 cm, le strutture sono anche molto resistenti al fuoco.

Tipi particolari di conglomerati cementizi sono il **calcestruzzo leggero**, caratterizzato da resistenze meccaniche limitate ma da elevate capacità isolanti, ottenuto aumentando il rapporto vuoto/pieno della struttura, attraverso il ricorso a degli aggregati leggeri e porosi che presentano una massa volumica compresa tra 300



La profondità della carbonatazione può venire evidenziata attraverso la prova alla fenolftaleina.



e 1800 kg/m³ (tufo, pietra pomice, argilla espansa...) o a schiume o generatori di gas (gas beton). Al contrario, il **calcestruzzo pesante** presenta una massa volumica eccezionale, tra i 3000 e i 4000 kg/m³, ottenuta aggiungendo all'impasto del solfato di bario in polvere. L'impiego è soprattutto negli ambienti speciali, dove ci sia necessità di schermare eventuali radiazioni dannose (ad esempio, nei laboratori per strumenti a raggi X). Il **calcestruzzo fibrorinforzato** è costituito da impasti in cui vengono disperse fibre di varia natura (polimerica, metallica, ceramica, vegetale...) allo scopo di migliorare la tenacità del manufatto e la sua resistenza agli urti.

Additivi

La moderna tecnologia del cemento ha messo a punto una nutrita serie di additivi che permette di ottimizzare alcune prestazioni particolari, di migliorare la lavorabilità, e che si rivelano particolarmente importanti nel campo del restauro.

Gli **idrofughi** riducono la porosità di malte e conglomerati esercitando anche un effetto fluidificante che permette di ridurre il rapporto di acqua/cemento e ottenere getti più compatti e resistenti. Migliorando contemporaneamente le resistenze all'insediamento di muffe ed efflorescenze, questi additivi si rivelano estremamente utili per la realizzazione dei muri di fondazione e di sottofondazione, o delle opere esposte all'azione dell'acqua. Alcuni idrofughi presentano anche capacità acceleranti della presa e dell'indurimento.

Gli **acceleranti** hanno il compito di ridurre i tempi di presa, aumentando le resistenze iniziali del calcestruzzo; possono avere un'azione rapidissima e hanno in genere anche un effetto

La moderna **tecnologia** del cemento ha realizzato molti **additivi** che permettono di **ottimizzare** alcune prestazioni particolari, di migliorare la lavorabilità, e che si rivelano particolarmente importanti nel campo del **restauro**.



impermeabilizzante.

I **plastificanti**, o fluidificanti, aumentano la lavorabilità producendo anche un aumento della resistenza. I getti che si ottengono sono più compatti, impermeabili e presentano una finitura idonea all'impiego a faccia a vista. Vengono spesso utilizzate anche nelle miscele per le iniezioni consolidanti.

I **ritardanti** hanno lo scopo di prolungare la lavorabilità dell'impasto, incrementando parallelamente le resistenze meccaniche e riducendo il ritiro e quindi il rischio di fessurazione. Presentano in genere anche capacità fluidificanti e impermeabilizzanti.

Gli antigelo permettono di lavorare con temperature ambientali fino a -10°C.

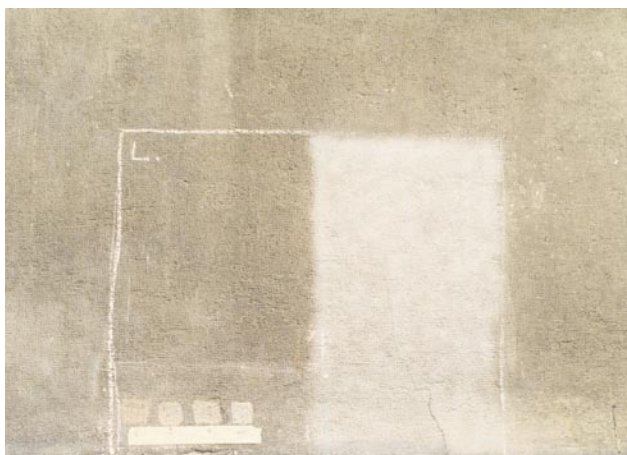
Gli espansivi, infine, vengono utilizzati per il confezionamento di malte e boiacche a ritiro nullo.

■ **Estrazione** di una carota dalla struttura in cemento armato per evidenziare eventuali fenomeni di carbonatazione profonda.

Patologie di DEGRADO

Il degrado del calcestruzzo è generalmente imputabile a fattori diversi, spesso concomitanti tra loro, di natura fisico-meccanica e chimica. Tra le cause più diffuse rientrano i processi di gelo-disgelo, le fessurazioni, gli attacchi acidi, i

Prove di pulitura
di una superficie
in cemento a vista.



processi di carbonatazione. Questi ultimi sono imputabili all'aumentato livello di inquinamento dell'atmosfera e sono causati dalla penetrazione dell'anidride carbonica nelle fessure presenti nella superficie. Risultano particolarmente pericolosi nel caso delle strutture in cemento armato, che perdono la neutralità e vedono innescarsi i fenomeni di corrosione ed espansione delle armature. Altrettanto pericolosi si rivelano gli attacchi dei sali cloruro di sodio (presente nelle atmosfere marine e nei sali antigelo utilizzati sulle strade in caso di neve) e dei solfati di calcio, potassio, magnesio e ammonio, la cui aggressività viene potenziata dalla presenza di umidità e dalle temperature vicine allo zero. Un'altra causa estremamente diffusa è quella imputabile all'errore umano, sempre presente in una tecnologia complessa come quella del cemento armato. Modalità di impasto e di applicazione imprecise o sbagliate, possono essere responsabili della comparsa di fessurazioni, che rappresentano dei pericolosi veicoli di attacco dall'ambiente esterno.

Il cemento nel RESTAURO

Nell'ambito del restauro, si sente spesso discutere circa la compati-

**Modalità di
impasto e di
applicazione
imprecise
o sbagliate,
possono
essere
responsabili
della comparsa
di fessurazioni,
che
rappresentano
dei pericolosi
veicoli di
attacco
dall'ambiente
esterno.**

bilità del cemento con le murature tradizionali in malta di calce e laterizio o pietra. Innanzitutto, bisogna operare una distinzione tra compatibilità strutturale e compatibilità estetica. Per quanto riguarda la prima, i manufatti cementizi presentano dei valori di resistenza meccanica e di modulo elastico molto superiori rispetto agli apparecchi in muratura tradizionale. Inoltre, il cemento armato è in grado di resistere anche agli sforzi di trazione e di flessione; occorre quindi procedere con grande cautela quando una nuova struttura di natura cementizia sia chiamata a collaborare, e non a sostituire, una vecchia, di concezione tradizionale, probabilmente, ulteriormente indebolita dall'azione del tempo. In molti casi, sarà opportuno procedere a un preconsolidamento, ad esempio, tramite iniezione di boiacche cementizie, finalizzato ad aumentare i valori di resistenza meccanica della preesistenza.

In questo settore inoltre, l'aspetto estetico del cemento può acquistare una notevole importanza, soprattutto nelle applicazioni a vista a contatto con materiali e strutture di tipo e morfologia tradizionale. Esistono delle modalità di lavorazione che permettono di ottenere delle superfici dall'aspetto, grana e colorazione, particolarmente pregiato e caratteristico. Si può operare sui casseri, per ottenere delle superfici rigate, graffiate o con disegni particolari realizzati a rilievo, oppure lavorare la superficie prima che la presa sia completata con strumenti quali mole, sabbiatrici, bocciarde... Anche con l'adozione di aggregati speciali si può giungere a modificare l'aspetto del calcestruzzo; vengono utilizzati soprattutto pietrisco a spigoli vivi, ghiaia di fiume, frammenti di pietre calcaree, granitiche o silicee, di colori e dimensioni diverse. ■