

# Chimica delle formulazioni: la sfida del XXI secolo

di Giorgio Squinzi

La chimica delle formulazioni è legata a numerose applicazioni industriali ed è in continua evoluzione. Ne ha dato una efficace descrizione, portando l'esempio degli adesivi cementiti, Giorgio Squinzi, Presidente di Federchimica e chairman di Mapei, nella lectio doctoralis tenuta al Politecnico di Milano in occasione del conferimento della laurea ad honorem. Una prospettiva interessante per l'industria chimica italiana.



Il rifacimento  
dei Saloni  
Sistini in  
Vaticano

Prima di affrontare più specificatamente il tema tecnico in oggetto, ritengo utile descrivere sinteticamente l'attuale periodo che sta vivendo l'industria chimica mondiale e, di conseguenza, quella italiana: un periodo di profonda trasformazione che sta portando a ridisegnare il profilo della maggioranza degli attori nel sistema competitivo.

Come in tutti i periodi turbolenti, i cambiamenti generano minacce e opportunità. Anticipo subito che sono ottimista e che vedo in questa trasformazione reali opportunità per la chimica italiana, purché si attrezzi rapidamente per vincere la sfida: e dico anche che ne ha le possibilità.

## I cambiamenti nella chimica mondiale

Ancora a metà degli anni Ottanta nella classifica delle principali imprese chimiche mondiali un'impresa italiana – Montedison – deteneva la decima posizione e la stessa era il terzo gruppo industriale italiano. Le più recenti classifiche non vedono più italiane tra le prime trenta imprese chimiche. Questa constatazione - che porta a concludere che l'Italia non ha più un operatore globale nella chimica - è vera, ma necessita di analisi non semplicistiche. In particolare non deve portare a conclusioni del tipo "la chimica italiana è finita"; sono conclusioni che caratterizzano le analisi a esclusivo contenuto giornalistico e che troppo spesso hanno accompagnato la storia di questo settore.

La chimica mondiale è interessata da tendenze di mercato e da innovazioni tecnologiche che hanno rapidamente modificato le politiche dei principali operatori. Si deve partire da queste tendenze e da queste politiche per capire il posizionamento dell'industria italiana e le sue possibilità di crescita.

Le tre principali tendenze in atto sono le seguenti:

a) la crescita minore, rispetto al passato, della domanda chimica al crescere dell'economia. Questa situazione da un lato diminuisce il tasso di sviluppo del settore nei paesi industrializzati e dall'altro muove sempre più la domanda, ma anche l'offerta, verso i paesi emergenti dove i consumi delle famiglie e delle imprese sono più vivaci e con maggiore contenuto di chimica;

b) il progressivo aumento dei prodotti definibili come *commodities* anche al di fuori della chimica di base. È il sintomo di un'apparente difficoltà di buona parte della chimica nel saper offrire ai propri utilizzatori prodotti e soluzioni nuove che tengano alti i livelli di domanda;

c) il crescente impegno nella prevenzione ambientale non solo come risposta alle sempre più stringenti normative ma anche come strategia aziendale di lungo periodo. In questo ambito la competitività della chimica diventa sempre più dipendente dal sistema normativo e dalla conseguente applicazione dello stesso.

In questo contesto l'industria chimica mondiale ed europea e in particolare i gruppi più grandi hanno sviluppato da una parte politiche di adattamento, dall'altra strategie aggressive e originali. In generale si può sottolineare il tramonto del modello di grande gruppo chimico. Questo modello basava il vantaggio competitivo sull'integrazione sinergica delle diverse competenze chimiche e su un portafoglio bilanciato tra *business* ciclici e non, e aveva mantenuto la propria identità durante tutto il secolo, nonostante le grandi discontinuità tecnologiche che avevano caratterizzato l'industria chimica, come ad esempio il passaggio dalla chimica del carbone alla petrolchimica e, più recentemente, lo sviluppo delle biotecnologie. L'analisi dei cambiamenti avvenuti nella chimica mondiale suggerisce alcune considerazioni sul declino dei grandi gruppi nella chimica italiana:

- non esiste ormai più il modello italiano del grande gruppo chimico diversificato;
- il contesto europeo per gran parte dei business chimici (e in particolare della petrolchimica) è sfavorevole per i vincoli normativi, i costi energetici e di *feed-stock*.

Le imprese chimiche mondiali si sono mosse con rapidità e con aggressività molto superiore al passato verso posizionamenti innovativi nella consapevolezza di un confronto competitivo molto difficile. In questo contesto le grandi imprese italiane si sono trovate a risolvere problemi accumulati negli anni precedenti e hanno potuto sviluppare soltanto politiche di difesa. In nessun modo il contesto esterno (normative, autorizzazioni, logistica, energia, infrastrutture, ecc.) le ha aiutato, rallentandone anzi gli adattamenti necessari.

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali, per il momento, pochi sono stati i riconoscimenti delle autorità ad un impegno concreto che il sistema dell'industria chimica ha preso; mi riferisco ad esempio al Programma *Responsible Care*, il programma mondiale a cui aderiscono, su base volontaria, 167 imprese chimiche italiane (50% circa della produzione nazionale). Questi elementi non hanno permesso lo sviluppo dinamico di una o più imprese specializzate di dimensione mondiale, anche se nuovi attori stanno assumendo ruoli importanti in settori specifici, con possibilità di crescita sia con programmi di internazionalizzazione, sia rafforzando la base produttiva in Italia.

### La chimica delle formulazioni in Italia

A determinare l'importanza della chimica non sono soltanto le dimensioni rilevanti dell'industria: come bene intermedio per eccellenza, la chimica svolge il compito strategico di trasferimento tecnologico attraverso l'innovazione sviluppata nei suoi laboratori e contenuta nei suoi prodotti. Alle imprese chimiche - ma soprattutto alle piccole e medie imprese (Pmi), perché sono quelle che normalmente vendono ausiliari e specialità alle imprese non chimiche - è affidato il compito di trasferire a valle l'innovazione sviluppata nella catena chimica.



Molti dei successi del made in Italy nel mondo sono strettamente legati alla capacità della chimica italiana di rispondere alle esigenze di flessibilità, specializzazione, personalizzazione dei clienti. Pensiamo ad esempio al contributo nascosto ma fondamentale della chimica al successo del sistema tessile/moda, della pelletteria, dell'arredamento, dell'edilizia, dell'auto, di molti comparti della meccanica e dell'agroalimentare. Molte delle possibilità delle imprese italiane di continuare ad avere successo in futuro sono proprio legate allo sviluppo di partnership tecnologiche e innovative con le imprese chimiche. Le nostre imprese infatti per assolvere ai nuovi compiti non possono - se non in minima parte - acquisire innovazione dall'esterno. Nei prodotti a forte contenuto applicativo, quali sono i prodotti formulati, l'innovazione è frutto dell'integrazione di conoscenze tecniche e di mercato, e quindi tipicamente

aziendali; le imprese devono perciò svilupparla "in casa", nei propri laboratori e tramite accordi di collaborazione con centri di ricerca e altre imprese. Quindi l'industria chimica italiana ha un ruolo centrale nel tema ricerca-innovazione, perché da noi questo tema coinvolge l'intero settore, cioè centinaia di imprese. Per le sue caratteristiche l'impresa chimica italiana si sta specializzando in settori molto diversi tra loro.

Moltissime Pmi, che sono la gran parte della chimica italiana, e quindi offrono la maggioranza dei posti di lavoro e di ricerca, si occupano di attività di formulazione e di chimica fine sviluppate nei settori a valle della grande chimica di base. Formulazione e sintesi discontinue non sono esigenze marginali nella domanda di laureati della chimica italiana di oggi. Se veramente crediamo al rapporto scienza-industria dobbiamo accettare questo fatto, impegnarci in un miglioramento della situazione, costruire punti di forza e di eccellenza.

### Un esempio: gli adesivi cementizi

Un esempio significativo di applicazione della chimica delle formulazioni è rappresentato dallo sviluppo degli adesivi cementizi per piastrelle ceramiche e in pietre naturali, che è una delle linee di prodotto di Mapei.

Ritengo possa essere interessante introdurre l'argomento riassumendo in breve le origini di questo tipo di prodotti, che risalgono alla metà degli anni Cinquanta, periodo in cui Mapei cominciava a produrre la prima generazione di un adesivo denominato Adesilex P9. I posatori, che fino ad allora erano stati costretti a confezionare di volta in volta sul posto la tradizionale malta cementizia occorrente, finalmente si ritrovavano un prodotto pronto all'uso, più vantaggioso, con una maggiore rapidità nella messa in opera, che consentiva prestazioni garantite ed una maggiore resa. Questo progresso appare tanto più significativo se inserito nel contesto di quegli anni, che vedevano una vertiginosa ascesa del consumo di piastrelle ceramiche e in particolare di ceramiche italiane.

Gli adesivi cementizi si sono evoluti in maniera notevole, soprattutto per rispondere alle esigenze di mercato. L'inizio degli anni Sessanta ha visto sia l'introduzione degli eteri di cellulosa in funzione di ritentori d'acqua e modificatori reologici in sostituzione della caseina, tradizionale legante naturale derivato dal latte, sia l'inizio dell'uso di polveri polimeriche ridispersibili di polivinilacetato per garantire una migliore adesione. Molto importante è stato anche lo sviluppo (fine anni Sessanta) di un adesivo a costo ridotto, che ha aperto la strada alla produzione su larga scala. Nel decennio successivo sono stati introdotti i lattici flessibilizzanti. Negli anni Ottanta sono stati sviluppati adesivi e sistemi integrati a presa rapida capaci di assorbire l'acqua di impasto per autoidratarsi.

Per quanto riguarda gli anni più recenti vale la pena di ricordare lo sviluppo di prodotti ecologici a basso contenuto di Voc (Volatile Organic Compounds). In tutte queste fasi di sviluppo, Mapei è sempre stata l'attore che ha condotto l'innovazione e ciò le ha permesso di ottenere e poi mantenere la leadership mondiale in questo segmento di mercato. Non sarebbe però stato possibile conservare tale ruolo, se Mapei non avesse dedicato un'attenzione particolare e risorse rilevanti alla ricerca, in cui, in maniera costante negli anni, è stato investito il 5% del fatturato e a cui dedica il 12% dei dipendenti. Oltre all'apporto delle risorse interne, soprattutto negli anni più recenti, l'azienda ha potuto contare su rilevanti contributi da

parte di Università e Istituti di Ricerca, con cui ha collaborato, in Italia e nel mondo; tra i quali di particolare importanza alcuni proprio del Politecnico di Milano.

### Il grado di sviluppo tecnologico odierno

Oggi, ad oltre 40 anni dalla nascita, gli adesivi cementizi possiedono un contenuto tecnologico estremamente elevato e vengono impiegati per applicazioni diversificate ed impegnative, come costantemente testimoniato dai cantieri realizzati in tutto il mondo, dai più grandi e famosi, ai meno noti luoghi della vita quotidiana. Alcuni cantieri sono particolarmente importanti e hanno dato lustro a questi prodotti.

Come il rifacimento dei Saloni Sistini in Vaticano, la cui pavimentazione è costituita da piastrelle di gres porcellanato che, oltre a trovarsi in un contesto di alto contenuto artistico e storico, è sottoposta ad un pesante logorio, quale quello imposto giornalmente dai quindicimila visitatori che percorrono i corridoi per accedere alla Biblioteca Vaticana o alla Cappella Sistina. Il prestigio della collocazione è quindi associato in questo caso ad un problema tecnico oneroso che ha richiesto un'attenta progettazione ed un'esecuzione in tempi record del rifacimento della pavimentazione (30 giorni).

La Torre delle Comunicazioni di Kuwait City, il simbolo della liberazione del Kuwait dall'invasione irachena, è un esempio notevole di applicazione di adesivi cementizi deformabili: un'altezza di 372 metri di calcestruzzo rivestito all'esterno con 14.000 m<sup>2</sup> di piastrelle in condizioni climatiche estreme caratterizzate da enormi escursioni termiche.

Un altro esempio significativo è rappresentato dall'Università dello Stato di Washington a Seattle, dove era stato richiesto di posare in facciata in esterno piastrelle di gres porcellanato. La grande tenacità, la forza di adesione e l'alta deformabilità dei prodotti utilizzati hanno permesso di resistere senza distacchi - unico esempio tra gli edifici della zona - al terremoto di sesto grado del febbraio 2001. Importanti, per estensione delle superfici e impegno legato alla destinazione d'uso sono anche le numerose applicazioni in ambito aeroportuale, come ad esempio l'aeroporto di Bruxelles, 120.000 m<sup>2</sup> di granito rosa del Madagascar. Questi esempi, oltre a dare un'idea parziale dei contesti in cui questo tipo di prodotti possono essere utilizzati, permettono di evidenziare che la scelta di un adesivo dipende da una serie di fattori tecnici quali:

- la natura del rivestimento, cioè la sua tipologia e dimensioni;
- la natura del supporto, in termini di tipologia, umidità, deformabilità e comprimibilità;
- la destinazione d'uso, in termini di carichi statici e dinamici, condizioni di aggressione ambientale, sollecitazioni termiche;
- le esigenze esecutive, cioè le condizioni climatiche esistenti al momento della posa e la qualità della manodopera;
- la messa in esercizio, cioè il tempo entro il quale la pavimentazione deve essere in grado di sopportare carichi pesanti.

Il grado di sviluppo di questi prodotti può certamente essere definito maturo, ma le esigenze del mercato sono in continua evoluzione, con richieste di prodotti le cui funzioni d'uso sono sempre più sofisticate.

Cito a titolo d'esempio gli adesivi per rivestimenti ceramici a parete che impediscono qualunque scivolamento del rivestimento una volta applicato, il che diventa sempre più impegnativo con l'aumentare delle dimensioni delle piastrelle (60 x 60 cm e oltre). Perseguire obiettivi così impegnativi facen-

do leva su un approccio puramente empirico comporta un'attività sperimentale molto laboriosa. Inoltre i modelli empirici sono difficilmente estrapolabili e l'estensione di soluzioni a problemi di natura simile è difficoltosa. In altri termini, la curva di apprendimento correlata a questo approccio è scarsamente efficace, ed è certamente più redditizio affrontare ogni obiettivo ab-initio. Lo sviluppo di questo tipo di prodotti deve fare un uso maggiore di approcci fondamentali, che combinino conoscenze di tipo ingegneristico e chimico.

### Le tre facce della tecnologia degli adesivi cementizi

Gli adesivi cementizi hanno oggi un contenuto tecnologico basato su conoscenze interdisciplinari che compendiano nozioni fondamentali attribuibili alla chimica e alla fisica dei materiali, unite agli aspetti progettuali e realizzativi tipici delle discipline ingegneristiche.

La scienza e la tecnica delle costruzioni, la reologia, la meccanica della frattura, la teoria della viscoelasticità, l'ingegneria di processo, l'ingegneria delle reazioni chimiche e delle unit operation, la modellistica matematica, sono fattori che giocano un ruolo rilevante nella moderna tecnologia degli adesivi. Questo contenuto ingegneristico è identificabile in tutte le componenti tecnologiche degli adesivi cementizi.

*Linea di produzione completamente automatizzata in esercizio nello stabilimento del Gruppo Mapei a Robbiano di Mediglia*



### Tecnologia di processo

La *driving force* per lo sviluppo della tecnologia di processo è la produzione su larga scala. Il prodotto a più alto volume di Mapei si chiama Kerabond (3.000 t/giorno prodotte in 28 stabilimenti nel mondo).

Questi volumi determinano l'esigenza di grande velocità ed efficienza produttiva nonché di elevata costanza qualitativa. La tecnologia di produzione odierna è il risultato di un'evoluzione nel tempo: la linea più veloce di prodotti in polvere del Gruppo, completamente automatizzata, ha una capacità oraria di 3.600 sacchi da 25 kg ed è in esercizio nello stabilimento di Robbiano di Mediglia. L'operazione unitaria fondamentale del processo è la miscelazione dei solidi che sono i componenti della formulazione e cioè cementi, inerti e additivi: essa viene realizzata in batch, con dispositivi di scarico disposti sull'intera lunghezza del miscelatore.

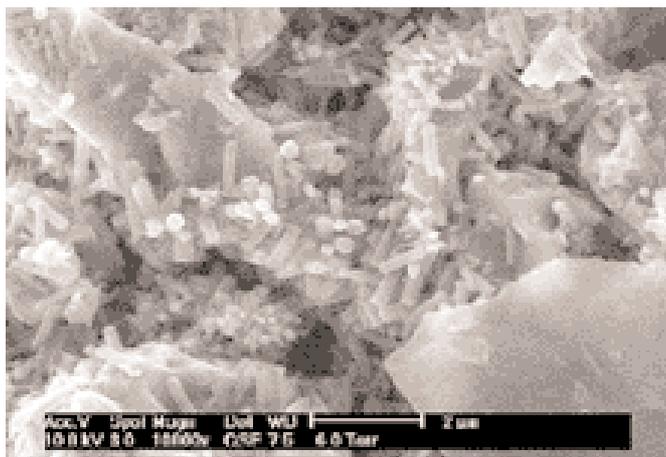


Immagine da microscopia Esem-Feg di adesivo cementizio

Il mixing è assicurato da un letto fluidizzato realizzato meccanicamente. Gli aspetti critici dell'apparecchiatura sono rappresentati dai sistemi di dosaggio, di scarico e dai materiali dell'apparecchiatura, che devono presentare una resistenza all'usura soddisfacente. I parametri caratteristici dell'operazione sono: il tempo di miscelazione, il tempo del ciclo, il volume del batch.

### Tecnologia di prodotto

L'aspetto fondamentale della tecnologia di prodotto è rappresentato dai suoi componenti, che concorrono a definire la formulazione. Un adesivo cementizio si presenta come una polvere bianca o grigia che contiene:

- un legante idraulico, costituito da un cemento o da una miscela di leganti idraulici;
- sabbie di granulometria selezionata di tipo siliceo o calcareo;
- polimeri di sintesi sotto forma di polveri ridispersibili;
- polimeri ritentori d'acqua;
- modificatori reologici;
- regolatori della velocità di presa, di indurimento e di filmazione superficiale.

Il prodotto in polvere viene utilizzato dall'applicatore per preparare un impasto mediante la miscelazione con acqua nelle giuste proporzioni, od eventualmente con un lattice flessibilizzante fino ad ottenere una pasta omogenea, pronta all'uso. L'impasto viene quindi applicato sul sottofondo con una spatola dentata. La posa delle piastrelle deve avvenire entro un tempo massimo, detto tempo aperto, esercitando una buona pressione per favorirne il contatto con l'adesivo. L'adesivo sviluppa poi nel tempo le sue proprietà meccaniche.

L'approccio empirico alla definizione della formulazione ottimale per un certo tipo di prodotto, definito in termini di un insieme di "proprietà d'uso", consiste in un piano sperimentale *trial and error*, che è estremamente dispendioso e, come detto, non produce soluzioni estrapolabili a problemi diversi.

L'approccio fondamentale invece si basa sulla conoscenza delle correlazioni che legano un set di "proprietà fondamentali" del materiale, da un lato, alle sue "proprietà d'uso" e, dall'altro, alla formula che definisce la composizione del prodotto. Questo tipo d'approccio permette di progettare adesivi tailor-made sulle particolari esigenze d'impiego, limitando lo sforzo sperimentale. L'insieme delle proprietà del prodotto che abbiamo denominato "d'uso" si possono suddividere in proprietà applicative e prestazionali.

Le prime sono relative al prodotto fresco, dopo miscelazione in cantiere del formulato con acqua. Le più significative sono:

- facilità di applicazione: l'applicatore deve poter stendere il prodotto sul supporto con la spatola senza dover esercitare uno sforzo eccessivo;
- scivolamento: in applicazioni in verticale bisogna eliminare lo scivolamento delle piastrelle una volta applicate;
- tempo aperto: è il tempo, a partire dalla stesura dell'adesivo, entro il quale la piastrella deve essere applicata;
- potere bagnante: esprime la capacità di creare un intimo contatto adesivo-supporto;
- registrabilità: è il tempo entro il quale la posizione di una piastrella posata può essere corretta;
- pot-life: è il tempo di durata utile dell'impasto.

Le proprietà applicative dipendono da una serie di proprietà del materiale di carattere fondamentale, che chiameremo intrinseche e che definiscono il suo comportamento fisico in senso lato. Le più importanti sono:

- reologia dell'impasto: l'impasto ha caratteristiche di fluido non-newtoniano, di tipo pseudo-plastico, il cui comportamento è definito da due parametri, *yield-stress* e viscosità plastica; tali parametri possono essere stimati con misure eseguite su un reometro;
- proprietà viscoelastiche: l'impasto ha altresì caratteristiche di corpo viscoelastico, intermedie cioè tra quelle di un fluido e quelle di un solido, che possono essere definite in termini di due moduli, il modulo elastico e il modulo viscoso; il valore dei moduli può essere stimato rispettivamente valutando la risposta in fase e quella in opposizione di fase del materiale sottoposto a una sollecitazione oscillatoria; anche questo tipo di misura può essere eseguita in un reometro;
- cinetica di idratazione: le reazioni di idratazione subite dal cemento provocano una variazione nel tempo delle proprietà meccaniche e reologiche dell'adesivo;
- angolo di contatto: è la variabile che definisce le caratteristiche di potere bagnante dell'adesivo.

Dall'altro lato però le proprietà intrinseche dell'adesivo sono intimamente legate alla natura della formulazione, ovvero alle interazioni chimiche e fisiche che in essa si realizzano. Recenti analisi di microscopia elettronica, per esempio, hanno

### Correlazioni tra proprietà intrinseche e applicative di un adesivo cementizio

La *facilità di applicazione* dell'adesivo è legata alla viscosità  $\eta$  ad uno *shear-rate* imposto dalla velocità del braccio del posatore durante la posa del prodotto: per una velocità del braccio dell'ordine di 1 m/s e uno spessore di adesivo pari a 4 mm, si realizza uno *shear-rate* pari a  $250 \text{ s}^{-1}$ , in corrispondenza del quale, per avere una buona facilità di applicazione, la viscosità non deve essere superiore ai 50 Pa s. La *resistenza allo scivolamento* è correlata alla viscosità ai bassi *shear* e/o alla presenza di uno *yield-stress*.

Si può di nuovo fare ricorso ad un calcolo approssimato: per una velocità di scorrimento massima di 0,5 mm in 5 minuti, e uno spessore di adesivo pari a 4 mm, si realizza uno *shear-rate* pari a  $4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . La viscosità dell'adesivo a questo *shear-rate* deve essere in grado di contrastare lo sforzo indotto dal peso di una piastrella e quindi per una piastrella 10x10 cm, di 200 g, deve essere superiore a 500.000 Pa s.

messo in dubbio che gli additivi giochino sui materiali un ruolo esclusivamente fisico di modificatori reologici con effetto di ritentori d'acqua, ed è fondata l'ipotesi che essi esercitino effetti chimici e chimico-fisici sul processo di idratazione del legante idraulico, e generino forme idratate nei primi stadi di reazioni diverse da quelle identificabili in assenza di additivi.

D'altra parte anche i comportamenti reologico e viscoelastico sono influenzati dalla struttura del materiale e dalla sua evoluzione indotta dall'idratazione. È quindi importante accostare una caratterizzazione completa del processo di idratazione, condotta con l'ausilio degli adeguati strumenti sperimentali (Esem-Feg, microscopia a forza atomica, calorimetria, diagrammi di temperatura), a misure dell'evoluzione delle proprietà reologiche e viscoelastiche nel tempo per costruire un modello semiteorico, che renda conto dell'influenza dei diversi componenti sulla natura della formulazione e che così sappia dedurre gli effetti sulle proprietà d'uso dell'adesivo.

Le proprietà prestazionali dell'adesivo si riferiscono invece alle caratteristiche del prodotto indurito. Fondamentali sono evidentemente le sue caratteristiche adesive, riferite a particolari condizioni di stagionatura che simulano in laboratorio le varie condizioni possibili in cantiere:

- adesione dopo 24 ore, per gli adesivi a presa rapida;
- adesione iniziale (dopo 28 giorni di condizionamento in aria standard a 23°C e 50% di umidità relativa);
- adesione dopo immersione in acqua (7 giorni di condizionamento in aria standard seguiti da 21 giorni di immersione in acqua);
- adesione dopo azione del calore (14 giorni di condizionamento in aria standard seguiti da 14 giorni in stufa a 70°C);
- adesione dopo cicli di gelo-disgelo (7 giorni di condizionamento in aria standard seguiti da 21 giorni in acqua e 25 cicli di gelo/disgelo).

L'adesione viene determinata mediante prova di strappo.

Altre caratteristiche prestazionali importanti sono:

- la transitabilità, che è il tempo minimo perché il rivestimento sia transitabile senza danneggiamenti;
- l'indurimento finale, che è il tempo minimo perché il rivestimento possa essere messo in esercizio pieno;
- la deformabilità, che è la capacità dell'adesivo di assorbire deformazioni differenziali tra supporto e rivestimento.

Il complesso delle proprietà prestazionali concorre a definire le diverse classi di adesivi stabilite dalla norma europea EN 12004, norma elaborata con il contributo determinante dell'esperienza Mapei.

In base a queste norme Adesilex P9 è oggi un adesivo cementizio ad alte prestazioni, resistente allo scivolamento e con tempo aperto allungato (classe C2TE).

Altre proprietà di questo prodotto sono:

- durata dell'impasto > 8 ore,
- tempo di registrazione: 60 minuti,
- transitabilità: dopo 24 ore,
- indurimento finale: 14 giorni,
- deformabilità: media.

Per determinare la deformabilità di un adesivo cementizio in laboratorio si usa una prova di flessione, che ne determina la deformazione trasversale. La norma europea EN 12002 stabilisce che per  $\delta < 2,5$  mm l'adesivo si definisce non deformabile, per  $2,5$  mm  $< \delta < 5$  mm deformabile, per  $\delta \geq 5$  mm altamente deformabile. Il corrispondente modulo a trazione per una deformazione a rottura di 3 mm è dell'ordine di 5.000 MPa. Il modulo di shear viene determinato mediante una pro-

va di torsione, eseguita mediante uno strumento nel quale una barretta di dimensioni standardizzate viene sottoposta ad una forza di torsione, generalmente una coppia, fino a rottura, seguendo un procedimento di carico a velocità costante (6°/min). Il tipico valore di modulo di shear per un adesivo deformabile è dell'ordine di 1.500 MPa.

### Tecnologia di applicazione

La tecnologia di applicazione ha il compito di indirizzare i progettisti e gli applicatori verso il prodotto migliore per il problema specifico e il suo corretto uso in cantiere. Allo stesso tempo essa agisce da sensore in grado di percepire ed anticipare le richieste dei clienti e l'evoluzione tecnologica nel modo di costruire, divenendo così uno stimolo fondamentale per lo sviluppo di nuovi adesivi.



Prova di pull out per valutare le proprietà prestazionali dell'adesivo

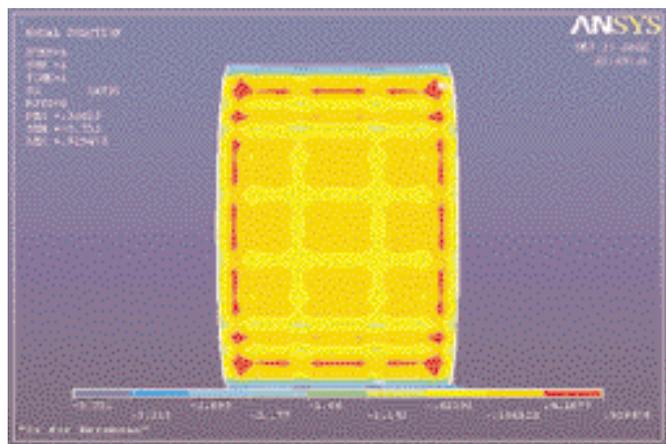
Il progetto di un adesivo si può avvalere anche dell'uso di metodi di calcolo numerico per lo studio di strutture, in cui viene modellato il comportamento del sistema supporto-adesivo-rivestimento in esercizio e quindi sotto l'azione di carichi applicati e variazioni di temperatura. Questi metodi possono offrire spiegazioni semplici, ma scientifiche, sulle cause delle differenze di comportamento di adesivi diversi in differenti condizioni e producono simulazioni rapide ed economiche dei sistemi reali. I parametri da includere nell'analisi di questi sistemi sono:

- tipo di struttura (sue caratteristiche statiche e dimensionali);
- spessore dell'adesivo;
- dimensioni del rivestimento;
- proprietà dei materiali (modulo elastico, coefficiente di Poisson, coefficiente di espansione termica, di ciascuno dei tre componenti (supporto-adesivo-rivestimento)).

Un metodo convenientemente utilizzato per lo studio delle strutture è quello degli "elementi finiti", che è largamente impiegato, ad esempio, nell'industria edile e automobilistica. Mapei è la prima azienda al mondo ad utilizzare tale metodo per lo studio del comportamento di adesivi per l'edilizia. La stima del regime di sforzi nell'adesivo consente - per con-

fronto con le resistenze reali - la valutazione del "coefficiente di sicurezza" relativo all'applicazione specifica. Nei casi studiati i coefficienti di sicurezza risultano rispettivamente di 1,45 per Adesilex P9 e di 2,61 per l'adesivo migliorato Kerabond + Isolastic. Sulla base dell'esperienza, riteniamo che il coefficiente di sicurezza più opportuno, per garantire l'applicazione, sia dell'ordine di 2,5 e quindi la soluzione consigliata è l'uso dell'adesivo migliorato.

In conclusione lo studio delle strutture può offrire un ausilio significativo al progetto di materiali, in grado di risolvere problemi applicativi specifici; il modello di esercizio del sistema composito in condizioni che schematizzano l'applicazione permette di derivare un set di proprietà d'uso ed intrinseche ottimali, e quindi la formulazione più adatta alla soluzione.



Simulazione agli "elementi finiti" per lo studio del comportamento di adesivi per l'edilizia

Da questa carrellata sul contenuto tecnologico odierno di un prodotto apparentemente banale quale un adesivo per piastrelle, si può intuire quale ne sia stata l'evoluzione durante mezzo secolo. Si è passati da un concetto di prodotto connotato da una generica indicazione di impiego, cioè colla per piastrelle, ad un concetto di un vero e proprio materiale caratterizzato da specifiche proprietà che ne determinano l'uso e le applicazioni. Ma il futuro è ancora più interessante in quanto ci si sta avviando verso un concetto di prodotto progettato per la specifica funzione d'uso; e questo grazie anche e soprattutto al contributo dell'ingegneria.

### Chimica delle formulazioni: la sfida del nuovo secolo

La chimica delle formulazioni è legata a moltissime applicazioni industriali: farmaci, antiparassitari, vernici, adesivi, cosmetici, catalizzatori, formulati per la detergenza, anticorrosione, prodotti alimentari, edilizia ecc. Essa è un'attività in continua evoluzione per permettere alle imprese di rispettare l'ambiente, di offrire prodotti a migliori prestazioni, ed economicamente convenienti. Un esperto di formulazioni di conseguenza trova sbocco non solo nell'industria chimica, ma sempre più anche in tutte quelle aziende a valle che devono conoscere e gestire l'innovazione chimica insita nei prodotti utilizzati.

Nel passato, come emerge dall'esempio sugli adesivi cementizi, sono stati soprattutto l'intuito, la tradizione, il know-how empirico a determinare lo sviluppo applicativo nel settore dei formulati. Si può affermare che la formulazione è assimilabile,

guardando al passato, ad un'arte. Ma oggi le imprese più avanzate l'hanno trasformata in tecnologia, e nel futuro diventerà una scienza: di questo hanno bisogno le imprese per costruire e mantenere vantaggi competitivi durevoli.

L'industria chimica italiana ha bisogno di un programma universitario che unisca le scienze formulative e le rafforzate. Scienza delle superfici, chimica fisica delle interfacce, reologia delle soluzioni e delle sospensioni, meccanismi dell'adesione, architettura macromolecolare vanno approfondite e rapportate a discipline più classiche come la scienza e tecnica delle costruzioni, l'ingegneria strutturale, l'ingegneria dei materiali. Si devono in particolare far conoscere a fondo le strumentazioni più specifiche che consentono di caratterizzare i formulati dal punto di vista chimico e fisico-meccanico. Il tutto deve essere spiegato tenendo presente la chimica-fisica di questi sistemi non è consueta, ma la sua comprensione è essenziale per chi avrà a che fare con problemi di formulazione.

L'acquisizione profonda del contenuto scientifico di queste tematiche, e di altre connesse, faciliterà l'ingresso nell'industria di nuovi apporti che permetteranno innovazioni di rilievo (messa a punto di nuove materie prime, di algoritmi, di sistemi esperti avanzati) e di innovazioni brevettabili, aiutando così le imprese a fare il necessario salto di qualità.

La caratteristica centrale che sta determinando il futuro dell'industria chimica è la sua dematerializzazione, cioè la minor importanza delle materie prime e il crescente peso della ricerca e dell'innovazione. Per questa ragione nell'industria chimica diventa ancor più centrale il ruolo delle risorse umane, il loro livello di preparazione scolastica e la possibilità di interagire con il mondo accademico. La caratteristica principale dell'industria chimica è di avere una relazione del tutto particolare con la scienza chimica da cui deriva: non c'è un altro settore per cui il legame scienza-industria sia così forte. Questo legame ha importanti implicazioni in quanto il sistema formativo finisce col determinare la competitività delle imprese e di conseguenza le possibilità di crescita nel lungo periodo. È quindi necessario che il sistema scolastico affronti questo diverso contesto con lo sviluppo di specifiche iniziative - sia all'interno del percorso formativo, sia con azioni concordate con il mondo produttivo - in modo da educare giovani laureati più rapidamente inseribili nelle imprese. La specializzazione delle Pmi nei settori della chimica delle specialità ha rilevanti implicazioni formative che cozzano contro il sistema attuale ancora troppo spesso ancorato all'ambito della sintesi di chimica organica e della polimerizzazione, all'ingegneria di processo per impianti continui e dedicati, allo studio delle unit operation più tradizionali. È opportuno sottolineare che l'attività di formulazione e di sintesi discontinua, tipiche delle piccole e medie imprese, non sono esigenze marginali e nemmeno insegnamenti di serie B, ma hanno la stessa dignità scientifica degli altri.

Questa necessità accomuna le piccole e medie imprese chimiche alle numerosissime imprese dei settori a valle, che assumono chimici, chimici industriali e ingegneri chimici richiedendo proprio una formazione orientata alla formulazione. È importante prendere atto che i rilevanti cambiamenti in parte avvenuti e tuttora in corso nell'industria chimica italiana rendono ancora più difficile la collaborazione tra il mondo accademico e il mondo dell'impresa. Collaborazione più difficile, ma non meno necessaria, nel rispetto degli specifici ruoli. Solo se insieme realizzeremo le condizioni per un'utile e proficua collaborazione, l'industria chimica italiana potrà vincere la sfida che si presenta all'inizio del nuovo secolo.