

Combining epoxy and polycarbamide technologies for high performance industrial flooring systems

■ Rob Rasing, Air Products and Chemicals, Inc. - The Netherlands
Jared D. Bender, Air Products and Chemicals, Inc. - Usa

For decades, polymer technology has provided the civil engineering sector with high performance flooring systems. Waterborne epoxy primers are well-described for delivering excellent adhesion to concrete substrates and for providing unique water vapour permeable flooring solutions. Solvent-free epoxy floorings, on the other hand, promote both increased mechanical and chemical protection to concrete substrates, allowing for enhanced durability. In the topcoat and sealer applications, 2-pack polyurethanes have built a reputation, in particular where satin finishes in combination with durability against UV light and high wear resistance are desired.

Novel flooring technologies are presented in this paper that address industry performance short-falls and demand for fast return, with reduced environmental impact. The use of high performance, rapid return epoxy primers in conjunction with aliphatic polyamine-cured isocyanate topcoats delivered to the end-user a novel combination of performance properties. Individual features such as clean air (or emission compliance) are considered 'must-have' without trade-offs on performance. Additional benefits are found when combining polymer technologies to a 'system approach' in which each technology

component delivers added value to architect, applicator and end-user. A combination of broad formulation latitude; fast property development at both ambient and low temperatures; and high mechanical and chemical integrity are demonstrated, which result in polymer floorings with excellent properties well suited for use in civil engineering, protective coating and structural adhesive applications.

Solvent-free and plasticiser-free 2-pack epoxy systems with high performance and fast cure speed have been reported before ^[9] (see

Pitture e vernici n. 5/2014). Compared to the formulated amine curing agent ("FA-3") in reference 9, TRT-1 allows longer wet edge time and attractive UV durability ^[11] while retaining a fast cure speed of Shore D50 within 24 hours at 10 °C. The importance of the high mechanical resistance of TRT-1 is illustrated in Figure 7 and 8. When epoxy castings are exposed to a stress of ca. 60% of the yield value (ie 28 kN; an exposure in the linear region of the stress-strain curve), TRT-1 showed only 1-2% deformation after 90 minutes and full recovery after relaxation (Figure 8). For comparison, Cyclo-C exposed at 60% stress (ie 19 kN) resulted in rapid deformation



Combinare le tecnologie delle resine epossidiche e delle polycarbammidi in sistemi destinati a pavimentazioni industriali ad alta prestazione

■ Rob Rasing, Air Products and Chemicals, Inc. - The Netherlands
Jared D. Bender, Air Products and Chemicals, Inc. - Usa

Da decenni ormai la tecnologia dei polimeri offre agli operatori del genio civile sistemi per pavimentazioni di alta prestazione. I primer epossidici a base acquosa sono stati descritti come prodotti che forniscono un'adesione eccellente su substrati di calcestruzzo oltre a soluzioni per pavimenti particolarmente permeabili al vapore acqueo. I pavimenti a base di epossidiche esenti da solventi, d'altronde, potenziano la resistenza meccanica e chimica dei substrati di calcestruzzo, a vantaggio di una superiore durabilità. Nelle applicazioni di finiture e di sigillanti, si sono affermati i poliuretani bicomponenti, in particolare quando sono richieste finiture ad effetto satinato, la durabilità contro i raggi ultravioletti e la resistenza all'usura.

In questo articolo sono presentate le nuove tecnologie dedicate alle pavimentazioni trattando in particolare gli inconvenienti e l'esigenza di ottenere risultati immediati a basso impatto ambientale. L'utilizzo dei primer epossidici di alta prestazione e ad alta efficacia insieme alle finiture a base di isocianate reticolate con poliammidi alifatiche ha fornito all'utilizzatore finale una nuova combinazione di buone proprietà prestazionali. Singole caratteristiche quali la salvaguardia dell'aria pulita (ovvero basse emissioni) sono considerate essenziali in quanto a prestazioni. Combinando le tecnologie dei polimeri con la "tecnica di sistema" in cui ciascun componente della tecnologia dia valore aggiunto ad

architetti, applicatori e utilizzatori finali si ottengono ulteriori benefici. Si dimostrano inoltre sinergie ad ampio spettro nel campo delle formulazioni, sviluppo veloce delle proprietà sia a temperatura ambiente che a basse temperature; integrità meccanica e chimica, grazie a cui realizzare pavimentazioni a base di polimeri dotati di eccellenti proprietà idonee all'uso nel settore del genio civile, nelle applicazioni dei rivestimenti protettivi e degli adesivi strutturali.

I sistemi epossidici bicomponenti esenti da solvente e plastificante, di alta prestazione e alta velocità di reticolazione sono stati descritti sopra ^[9] (cfr. Pitture e vernici n. 5/2014 - n.d.r.). Nell'analisi comparata con l'agente reticolante

amminico ("FA-3") della nota 9, TRT-1 dà tempi di lavorabilità a margine prolungati e una soddisfacente resistenza agli UV ^[11] conservando nello stesso tempo l'alta velocità di reticolazione secondo Shore D50 entro 24 ore a 10°C. L'importante ruolo dell'alta resistenza meccanica di TRT-1 è dimostrato in fig. 7 e 8. Quando i rivestimenti epossidici sono stati esposti ad una sollecitazione pari a circa il 60% del valore di snervamento (cioè 28 kN; una esposizione nell'area lineare della curva di deformazione da sollecitazione), TRT-1 ha fornito un dato di deformazione pari a soltanto l'1-2%, dopo 90 minuti con recupero totale dopo il rilascio (fig. 8). A titolo di confronto, Cyclo-C esposto ad una sollecitazione del 60% (cioè 19 kN) ha provocato una deformazione rapida



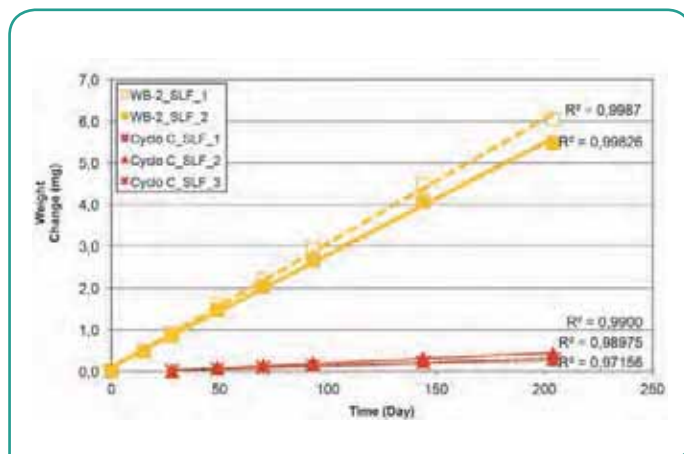


Fig. 6
Water vapour permeability of formulated epoxy self-levelling floor systems
Permeabilità al vapore acqueo dei sistemi per pavimentazioni autolivellanti a base di epossidiche

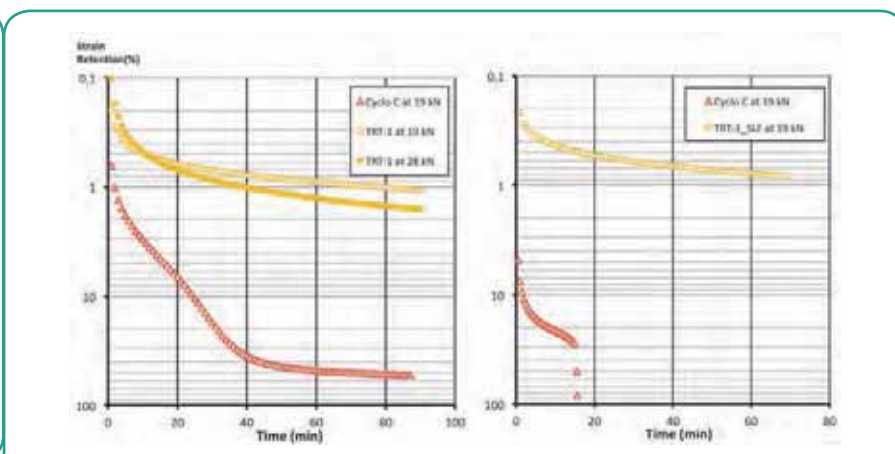


Fig. 7
Mechanical resistance (compressive mode) of TRT-1 based castings (Left) and formulated self-levelling floor (Right)
Resistenza meccanica (modalità compressione) dei rivestimenti a base di TRT-1 (a sinistra) e dei pavimenti autolivellanti (a destra)

with no signs of recovery. Similar trends are found for the respective formulated flooring systems based on TRT-1 and Cyclo-C (Figure 7, right). The floor integrity based on Cyclo-C is compromised and reduced floor longevity is anticipated.

APPLICATION OF TOPCOAT TO OPTIMIZE PERFORMANCE AND ULTIMATE AESTHETICS

Topcoats are typically applied between 75 and 500 g/m² depending on the targeted function. Applied over a

high performance industrial floor, a thin topcoat is sufficient to improve appearance (gloss or satin finish), UV durability and abrasion resistance. When applied over a broadcasted (epoxy) floor, a thicker layer is required that acts as a seal coat. In addition to

the attributes of a thin coating, the seal coat provides improved protection to the underlying decorative features of the epoxy floor and ultimate floor longevity. In both types of topcoats, formulators look for fast return to service to minimise additional down-

senza alcun segno di recupero. Tendenze simili sono state riscontrate nei rispettivi sistemi per pavimentazioni, a base di TRT-1 e Cyclo-C (fig. 7 a destra). L'integrità del pavimento a base di Cyclo-C viene compromessa anticipando la minore durabilità del pavimento stesso.

APPLICAZIONE DELLE FINITURE PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI E DELLE PROPRIETÀ ESTETICHE

Le finiture vengono applicate tipicamente fra i 75 e i 500 g/m² in base alla funzione mirata. Quando applicate su una pavimentazione industriale di alta prestazione, una finitura di basso spessore è sufficiente a migliorare le proprietà estetiche (brillantezza o finitura satinata), la resistenza agli UV e all'abrasione. Quando è applicata su un comune pavimento epossidico, si richiede uno strato di spessore superiore che funge da strato sigillante. Oltre agli attributi del rivestimento di basso spessore, lo strato impermeabilizzante offre maggiore protezione ai dettagli

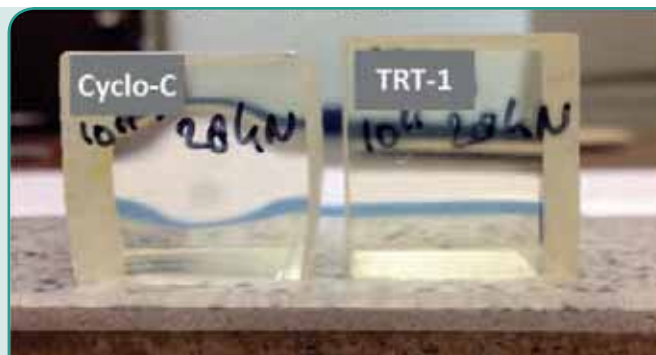


Fig. 8
Deformation of 25x25x25 mm casting after exposure to 28 kN (45 MPa) load
Deformazione di una posa 25x25x25 dopo l'esposizione a un carico di 28 kN (45 MPa)



Fig. 9
IC-1 based topcoat applied by squeegee and single back-roll
Finitura a base di IC-1 applicata a spatola e unica posa a rullo

decorativi sottostanti il pavimento epossidico e la massima durabilità al pavimento stesso. In entrambe le tipologie di finiture, i formulatori sono alla ricerca di un recupero immediato dell'operatività per ridurre al minimo i tempi di sospensione delle attività. Spesso, l'obiettivo di un veloce indurimento entra in conflitto con quello di conseguire pregevoli proprietà estetiche e di stabilità agli UV.

Le finiture reticolate con isocianate

sono note in quanto conferiscono ottime proprietà estetiche e buona resistenza agli UV e all'usura. Le proprietà prestazionali delle tre tipologie di finiture a base di isocianate sono riportate in tab. 4. IC-1 viene confrontato con la dispersione poliuretanicca 1K (PUD) e con una poliuretanicca bicomponente (PU). Tipicamente, entrambi PUD e PU sono sistemi a base solvente con 140-500 g/l VOC. PUD viene applicata con strati di spessore inferiore al fine

di evitare problemi di ritenzione del solvente e di formazione del film. Essa dà un rivestimento dotato degli attributi prestazionali sopramenzionati, tuttavia, il basso spessore del film essiccato limita la durata della vita utile in un ambiente industriale. I rivestimenti PU bicomponenti offrono vantaggi simili a quelli dei PUD oltre ad una maggiore flessibilità e al maggiore spessore possibile del film essiccato. Il compromesso sta nei tempi di reticolazione

time. Often, the fast cure target conflicts with the objectives to have high aesthetics and UV stability. Isocyanate-cured topcoats are popular for delivering high aesthetics and good UV and wear resistance. The performance properties of three types of isocyanate-based topcoats are summarized in Table 4. IC-1 is compared with a 1K polyurethane dispersion (PUD) and a 2-pack polyurethane (PU). Typically, both PUD and PU are solvent-based

systems with 140-500 g/l VOC. The PUD is applied in thinner coatings to avoid problems with solvent retention and film formation. It provides coatings with the above mentioned performance attributes, however, the low dry film thickness limits a long service life in industrial environment. Two-pack PU coatings provide similar benefits as PUD with improved flexibility and higher amenable dry film thicknesses. The trade-off lies in the longer cure times, in particular at

the low temperature condition, which can result in poor early water spot resistance.

Coatings based on IC-1 provide low mix viscosity with standard HDI trimer isocyanate resins. As such, they can be formulated without solvents for zero VOC and odour-free application. High film build up to 500 µm per coat are achievable while retaining fast cure speed and high UV resistance. Both high humidity and higher application temperature will accelerate the cure

in these resin systems which can significantly impact pot-life and cure times. Conversely, lower temperature and humidity will extend working time and return to service. It is for this reason that the recommended mode of application for IC-1 differs from 2-pack polyurethane. Applying the mixed material by squeegee, followed by a single back-roll allows fast application within the available working time (Figure 9). For further acceleration of the cure speed for example at low temperatures, IC-2 can be blended with IC-1 at any desired ratio. Typically 10-20% of IC-2 will facilitate in substantial cure acceleration balanced with acceptable working time. Compared to 1K PUD and polyurethane systems, polycarbamide based topcoats deliver attractive fast cure speed, excellent early water spot resistance, combined with good UV stability and high resistance to abrasion and impact. In addition to the high film build feature, coatings based on IC-1 and IC-2 facilitate long durable industrial floors.

Property Proprietà		Polycarbamide based on IC-1 ^a Policarbammide a base di IC-1 ^a	Solvent-based 2-pack PU ^b PU 2K ^b base solvente	Solvent-based (1K) PUD ^b PUD a base solvente (1K) ^b
Working time (open time) Tempi di lavorabilità	min.	15-20	>30	nd
Mix Viscosity Viscosità mista	mPa.s	1,200	2,000	<250
VOC (applied) VOC (applicati)	g/l	<5	140-500	140-500
Spreading rate Grado di distensione	g/m ²	200-500	100-200	80-100
Dry film thickness Spessore del film secco	µm	200-500	75-125	50-75
Walk-on – time to Shore D50 Calpestabilità – tempi secondo Shore D50	h (10 °C)	16-24	30-48	24
UV durability (ΔE) Durabilità agli UV (ΔE)		Excellent Eccellente	Excellent Eccellente	Excellent Eccellente
Tensile elongation Allungamento a trazione	%	25	25+	10-25
Abrasion Resistance (CS17) Resistenza all'abrasione (CS17)	mg loss perdita in mg	40	60	nd
Low Emission amenable Basse emissioni possibili	Yes/No Sì/No	Yes Sì	Yes Sì	Yes Sì

^a HDI Trimer isocyanate, 21.8 wt% NCO; η 2,500 mPa.s at 25°C; ^b Representative average examples
Isocianato trimero HDI, 21,8 % peso NCO; η 2,500 mPa.s a 25°C; ^b Esempi di media rappresentativa

Tab. 4
Comparison of handling and performance properties of polycarbamide based topcoats
Analisi comparata delle proprietà di trattamento e prestazionali delle finiture a base di policarbammide

prolungati, in particolare in condizioni di bassa temperatura, che potrebbero dar luogo ad una scarsa resistenza alle macchie d'acqua. I rivestimenti a base di IC-1 danno

una ridotta viscosità mista con resine isocianate trimeri HDI. In quanto tali, essi possono essere formulati senza solventi per applicazioni a 0 VOC e senza odori. Sono ottenibili spessori

elevati che possono raggiungere i 500 µm per strato conservando l'alta velocità di reticolazione e l'alta resistenza agli UV. Sia l'alto tasso di umidità che le temperature d'esercizio più elevate

accelerano l'indurimento di questi sistemi a base di resine con un forte impatto sulla pot-life e sui tempi di reticolazione. Per contro, le temperature inferiori e l'umidità estendono i tempi di lavorazione e di ripristino all'operatività. Per questa ragione la tecnica consigliata di applicazione per IC-1 differisce da quella per le poliuretatiche bicomponenti. L'applicazione a spatola del materiale mescolato, seguita da un'unica applicazione a rullo consente di eseguire una posa veloce entro i tempi di lavoro previsti (fig. 9). Per un'ulteriore accelerazione dei tempi di reticolazione, per esempio a basse temperature, IC-2 può essere miscelato con IC-1 a qualsiasi rapporto di quantità desiderato. Tipicamente, il 10-20% di IC-2 facilita l'accelerazione di reticolazione, bilanciata con tempi di lavoro accettabili. Rispetto a PUD 1K e ai sistemi poliuretatici, le finiture a base di policarbammide garantiscono un'interessante velocità di essiccazione, una precoce resistenza alle macchie d'acqua, associate alla buona stabilità agli UV e all'alta resistenza all'abrasione e all'impatto. Oltre alla caratteristica

CONCLUSIONS

High performance industrial flooring installation using polymer technology requires two, preferably three, stages of application. Concrete as a substrate material necessitates a primer for floor longevity. Amine-cured epoxy has a proven track record to accept the conditions introduced by the concrete substrate. Waterborne epoxy primer based on curing agent WB-1, in this respect, outperformed solvent-based and solvent-free epoxies. The system provided an attractive combination of easy handling; good penetration and sealing of concrete pores; and fast dry speed. Irrespective of concrete humidity conditions, WB-1 based primers additionally offered excellent adhesion.

Load-bearing floorings are the preferred choice for ultimate protection of the concrete structure integrity. A particular attractive choice is the self-leveling floor, which combines fast applicability with attractive smooth finish. TRT-1 based flooring was introduced that is free of

plasticisers for emission compliance. Furthermore, it provides fast cure speed, good aesthetics and high mechanical resistance. The relevance of improved mechanical resistance versus incumbent was demonstrated by exposure to continued stress. TRT-1 floorings resisted higher floor stress over longer periods of time for improved longevity. An alternative technology of choice are waterborne epoxy floors, which come with attractive matte finish, high water vapour permeability and emission compliance. The floor formulation based on WB-2 has been improved versus incumbent offerings. Re-engineering of the floor formulation resulted in improved wet edge time; applicability in thinner coats; and improved material cost economics per square meter of floor applied.

In terms of topcoats, IC-1 was introduced and benchmarked against 1K PUD and conventional solvent-based polyurethane. IC-1 (and IC-2) are amine curing agents specifically designed for use with polyisocyanate resin to constitute a polycarbamide thermoset. Compared to 1K PUD and

polyurethane, topcoats and sealers based on polycarbamide deliver attractive fast cure speed with good UV stability and high resistance to abrasion and impact. In addition, coatings based on IC-1 can be formulated without solvents for zero VOC and odour-free application in high film builds up to 500 µm per coat.

Reduction and elimination of plasticisers such as benzyl alcohol in conventional cycloaliphatic amine-cured epoxies can result in incomplete conversion and compromises in overall performance. At the same time, conventional plasticiser-free curing agents generally suffer from reduced barrier properties and slow property development at low temperature conditions. This has resulted in slow adaptation of plasticiser-free technologies in industrial applications. Recently, however, market has seen indoor air quality compliance to become preferred and often a 'must-have' in industrial flooring. Applying a system approach delivers high performance floorings that meet VOC and emission targets.

ACKNOWLEDGEMENTS

Edwin Lijffijt, Daniel Bleumink, Marcel Peters, Shafiq Fazel and Gamini Vedage are gratefully acknowledged for their contributions in the experimental work. We also acknowledge Air Products and Chemicals, Inc. for permission to publish this work.

REFERENCES

^[1] Datasheet: Moisture in concrete and moisture-sensitive finishes and coatings, Cement Concrete and Aggregates Australia, April 2007. References herein, eg Straube, J., Moisture properties of plaster and stucco for strawbale buildings, Canada Mortgage and Housing Corporation, Research Report, 00-132, 2000

^[2] Air Products and Chemicals, Inc., Let your concrete coatings and self-leveling floor breathe; Epilink® 701 waterborne curing agent, 2004

^[3] Lohe, M. Cook, M.I. and Klippstein, A.H., Three-dimensional epoxy binder structures for water damp permeable

dell'alto spessore del film, i rivestimenti a base di IC-1 ed IC-2 contribuiscono alla durabilità delle pavimentazioni industriali.

CONCLUSIONI

La posa delle pavimentazioni industriali di alta prestazione, basata sull'uso della tecnologia dei polimeri, richiede due se non tre fasi di applicazione. Il calcestruzzo come materiale del substrato necessita un primer ai fini della durabilità del pavimento. Le epossidiche reticolate con amminiche hanno consolidato la loro efficacia compatibilmente con le condizioni del substrato di calcestruzzo. Il primer epossidico a base acquosa, contenente il reticolante WB-1, a tal riguardo, ha superato in prestazione le epossidiche a base solvente e quelle esenti da solventi. Il sistema ha garantito le qualità di un trattamento soddisfacente, di assorbimento e di impermeabilizzazione dei pori del calcestruzzo e ancora della velocità di essiccazione. Indipendentemente dalle condizioni di umidità del

calcestruzzo, i primer a base di WB-1 hanno garantito anche una eccellente adesione.

Le pavimentazioni ad alta capacità di carico rappresentano la principale scelta per la protezione della struttura in calcestruzzo. Una scelta particolarmente interessante è rappresentata dal pavimento autolivellante che associa in sé l'applicabilità veloce insieme ad una finitura levigata dotata di ottime caratteristiche estetiche.

È stato descritto il pavimento a base di TRT-1, esente da plastificanti e quindi ecocompatibile. Oltre a ciò, esso reticola velocemente, è dotato di ottime proprietà estetiche e di elevata resistenza meccanica. La rilevanza della resistenza meccanica avanzata rispetto ai prodotti in commercio è stata dimostrata dall'esposizione alla sollecitazione continua. I pavimenti a base di TRT-1 resistono a lungo alle sollecitazioni per periodi prolungati e si distinguono per l'elevata durabilità. Una tecnologia alternativa è inoltre quella mediante cui realizzare pavimenti a base di epossidiche acquose, disponibili con finitura opaca interessante, alta permeabilità al

vapore acqueo ed ecocompatibilità. La formulazione del pavimento a base di WB-2 è stata perfezionata rispetto ai prodotti in offerta. La riprogettazione della formulazione ha garantito il prolungamento dei tempi di lavorabilità dei margini, l'applicabilità di strati di spessore inferiore e il risparmio economico del materiale per metro quadrato di pavimento applicato.

Per quanto riguarda le finiture, è stato presentato IC-1 confrontandolo con PUD 1K e con le poliuretaniche convenzionali a base solvente. IC-1 (e IC-2) sono reticolanti amminici, sviluppati specificatamente per l'uso con le resine poliisocianate e per creare un termoindurente polycarbammidico. Rispetto a PUD 1K e le poliuretaniche, le finiture e i sigillanti a base di polycarbammide forniscono proprietà di reticolazione accelerata, buona stabilità agli UV ed alta resistenza all'abrasione e all'impatto. Inoltre, i rivestimenti a base di IC-1 possono essere formulati senza solventi per applicazioni a 0 emissioni VOC e privi di odore con film di alto spessore, fino a 500 µm per strato. La riduzione e l'eliminazione dei

plastificanti come il benzil alcol nelle epossidiche reticolate con amine cicloalifatiche convenzionali possono dar luogo ad una trasformazione incompleta compromettendo la prestazione generale. Nello stesso tempo, i reticolanti convenzionali esenti da plastificanti risentono però della carenza per quanto attiene alle proprietà barriera e allo sviluppo delle proprietà in condizioni di basse temperature. Tutto questo ha determinato un adeguamento meno veloce delle tecnologie dei prodotti esenti da plastificanti per applicazioni industriali. Recentemente, tuttavia, il mercato ha testimoniato la preferenza di prodotti che rispondono al requisito di non inquinare l'aria in ambienti interni, che spesso diventa fondamentale nel caso delle pavimentazioni industriali. L'applicazione di un approccio di sistema garantisce la realizzazione di pavimenti di alta prestazione, conformi alle normative sul contenimento delle emissioni VOC.

La prima parte dell'articolo è stata pubblicata in Pitture e vernici - European Coatings n. 5 /2014

and breathable coating and flooring systems, Macromol. Symp. 187, 2002, 493-502

^[4] Council Directive 89/106/EEC of December 21 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products, OJ L 40, 11 February 1989; often referred to as "Construction Products Directive (abbrev. CPD)"

^[5] European Collaborative Action "Indoor Air Quality and Its Impact On Man", Evaluation of VOC emissions from building products; solid flooring materials (Report no. 18), EUR17334EN, European Commission, Joint Research Centre, Environment Institute, 1997

^[6] European Collaborative Action "Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure", Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU; inventory of existing schemes (Report no. 24), EUR21891EN, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, 2005

^[7] Ausschuss zur Gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB), Bewertungsschema fuer VOC aus Bauprodukten, Deutsche Institut fuer Bautechnik (DIBt), Ed. 1 March 2008

^[9] Monaghan, S.F. and Rasing, R., Waterborne epoxies - a practical, economic solution to low emission industrial floorings, European Coatings Congress, Nürnberg, 30 March-1 April 2009

^[9] Rasing, R. and Vedage, G.A., A breath of fresh air in emission free flooring:- Novel epoxy curing agent technology introduces improved formulation latitude, high performance and clean indoor air, European Coatings Congress, Nürnberg, 28-30

March, 2011

^[10] Rasing, R. and Vedage, G.A., A breath of fresh air in two-pack epoxy based flooring systems, Pitture e Vernici-European Coatings, 3/2012, 27-31

^[11] Abbreviations of amine curing agents and further details in the respective Air Products' technical datasheets:- Anquamine[®] 287 curing agent (WB-1); Anquamine 735 curing agent (WB-2); Ancamine[®] 2739 curing agent (TRT-1); Amicure[®] IC-321 curing agent (IC-1); and Amicure IC-221 curing agent (IC-2)

^[12] Ancarez[®] RZ-4305 epoxy resin, EEW190-200, viscosity 900-1,100 mPa.s

^[13] Details of equipment and procedures available on request.

The first part of this paper was published in Pitture e vernici-European Coatings 5/2014

curriculum vitae

Rob Rasing is technology manager for Air Products' Performance Products Epoxy business. Since joining Air Products in 2000, he specialized in the product development of epoxy curing agents for civil engineering, metal coatings and structural applications.

Rob Rasing è responsabile dell'area "Tecnologie" della Divisione Epossidiche di Air Products Performance Products. Dopo essere stato assunto da Air Products nel 2000, si è specializzato nel settore sviluppo prodotti dei reticolanti epossidici per il settore del genio civile, rivestimenti metallici e applicazioni strutturali.