



©Margulies Perruzzi

ΑΝΤΙΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

**ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ Ή ΤΗΝ ΑΝΑΣΤΟΛΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Η αρχιτεκτονική είναι η εφαρμοσμένη επιστήμη του σχεδιασμού και της υλοποίησης κατασκευών, με γνώμονα τη λειτουργικότητα, την εργονομία, την αισθητική των χώρων και την ασφάλεια των χρηστών. Στο πλαίσιο της ασφάλειας των χρηστών σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών και ιών, επιβλαβών για τη δημόσια υγεία, αναζητώνται αρχιτεκτονικές λύσεις με σκοπό την υγειονομική προστασία των ανθρώπων, οι οποίες θα είναι εφαρμόσιμες όχι μόνο σε χώρους υψηλής αποστείρωσης και υγειονομικής προστασίας (π.χ. νοσοκομειακών κλινών, χειρουργείων, μικροβιολογικών εργαστηρίων, βιομηχανιών παρασκευής τροφίμων) αλλά και σε χώρους κοινής χρήσης (γραφείων, εστιατορίων, ξενοδοχείων, μέσων μεταφοράς κ.ά.). Η τεχνολογία των υλικών συνιστά την επιστήμη, η οποία σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική μπορεί να προσφέρει αποδοτικές και καλαίσθητες εφαρμογές. Η ταχεία διάδοση των μικροοργανισμών, όπως των βακτηριδίων, των μυκήτων και των ιών δύναται να προκαλέσει εποχιακές επιδημίες ή και πανδημικές καταστάσεις με επιζήμιες συνέπειες στην υγεία και στην οικονομία. Στόχος της εφαρμογής των αντιβακτηριδια-



κών επιφανειών είναι ο περιορισμός της διάδοσης αυτών των μικροοργανισμών και η αναβάθμιση της ποιότητας διαβίωσης, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής των κατάλληλων υλικών, ανάλογα με την τελική χρήση και τον διαθέσιμο προϋπολογισμό.

Σκοπιμότητα εφαρμογής αντιβακτηριδιακών επιφανειών

Η χημική απολύμανση των ποικίλων επιφανειών ενός χώρου συνιστά μία από τις αποδοτικότερες λύσεις στην καταπολέμηση της δράσης των μικροοργανισμών. Ωστόσο, η τακτική απολύμανση σε μεγάλους και ανοικτούς χώρους συνάθροισης απαιτεί διαθεσιμότητα χρόνου και οικονομικών πόρων, καθιστώντας αυτήν τη λύση πολλές φορές ασύμφορη. Επιπροσθέτως, η εκτεταμένη έκθεση σε χημικά καθαριστικά μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς συνέπειες στην υγεία των χρηστών και ταυτόχρονα να δημιουργήσει, σταδιακά, ανθεκτικά στελέχη μικροοργανισμών, ενισχύοντας τον αέριο κύκλο διάδοσης - καταπολέμησης. Επομένως, η εφαρμογή των αντιβακτηρι-

διακών επιφανειών αποτελεί την εναλλακτική λύση, που είτε ως αυτούσια είτε σε συνδυασμό με τη μερική απολύμανση μπορεί να προσφέρει ολοκληρωμένη υγειονομική προστασία, επιτελώντας έναν εκ των δύο βασικών μηχανισμών δράσης:

- Εξουδετέρωση παθογόνων μικροοργανισμών με την απελευθέρωση ουσιών με αντιμικροβιακή δράση, οι οποίες διασπούν την κυτταρική μεμβράνη και εισβάλλουν στο σώμα των επικαθήμενων βακτηρίων, μυκήτων και ιών και τα εξουδετερώνουν (ενεργητική προστασία).
- Περιορισμό της επικάλυψης, της προσκόλλησης και του πολλαπλασιασμού των παθογόνων κυττάρων. Αναστολή της ανάπτυξης του υμένα, ο οποίος συνιστά την επιφάνεια - στοιβάδα συσσωρευμένης βιομάζας παθογόνων μικροοργανισμών (παθητική προστασία).

Υλικά και δομή αντιβακτηριδιακών επιφανειών

Οι αντιβακτηριδιακές επιφάνειες είτε αποτελούνται από ουσίες και υλικά που εμφανίζουν αντιβακτηριδιακή ενεργητική δράση είτε παρουσιάζουν ιδιαίτερα φυσικοχημικά

I. Επίστρωση βιομηχανικού δαπέδου σκυροδέματος με συνθετικές αντιμικροβιακές ενώσεις. Η απουσία αρμών συμβάλλει στην αντιμικροβιακή προστασία του δαπέδου.



2

χαρακτηριστικά στην εξωτερική τους στρώση με ανασταλτική, παθητική δράση. Παρακάτω περιγράφεται η ταξινόμηση των αντιβακτηριακών επιφανειών με βάση το υλικό και τη δομή τους.

Επιφάνειες από μέταλλα ή οξειδία του μετάλλου

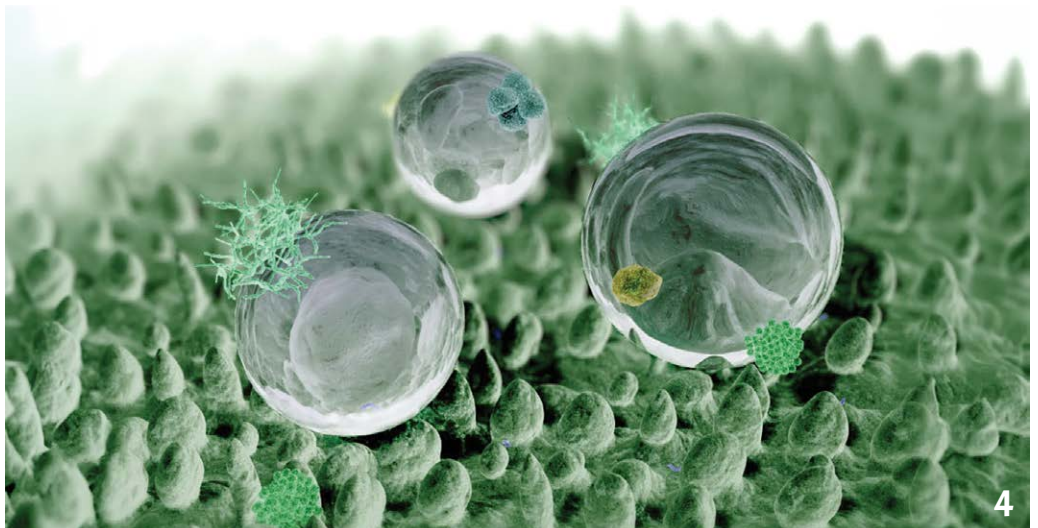
Τα νανοσωματίδια των μετάλλων και των οξειδίων τους, όπως του αργύρου (Ag), του οξειδίου του τιτανίου (TiO_2), του οξειδίου του χαλκού (CuO) και του οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO), έχουν μελετηθεί εκτενώς για την αντιμικροβιακή τους δράση ως μεμονωμένα υλικά και ως επικαλύψεις σε διάφορα υποστρώματα (συνθετικά πολυμερή, πορώδη αδρανή υλικά κ.ά.). Πλέον της ισχυρής τους δράσης, θεωρούνται οικολογικές λύσεις εξουδετέρωσης των μικροοργανισμών, παρέχοντας ασφάλεια στους χρήστες.

- **Νανοσωματίδια αργύρου.** Έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στο εσωτερικό των κυττάρων και να επιδρούν στην κυτταρική λειτουργία, προκαλώντας τον θάνατο των μικροοργανισμών. Συνήθως τα οξειδία του αργύρου ή τα ιόντα αργύρου ενσωματώνονται σε ένα πολυμερές υλικό απο-

δίδοντάς του αντιβακτηριδιακές ιδιότητες (π.χ. αντιβακτηριδιακές βαφές).

- **Διοξείδιο τιτανίου.** Έχει την ικανότητα να σκοτώνει διαφορετικούς τύπους βακτηριδίων.
- **Οξείδιο ψευδαργύρου.** Δρα ανασταλτικά ενάντια στον σχηματισμό της βιομάζας βακτηριδίων και τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές σε υφάσματα, γυαλί και υλικά επικάλυψης.
- **Χαλκός και κράματα χαλκού.** Έχουν την ιδιότητα να απελευθερώνουν ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα, τα οποία διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών, δημιουργώντας οπές και επιδρούν επιζήμια σε διάφορες λειτουργίες του κυττάρου (όπως π.χ. στην αναπνοή ή στη σύνθεση των πρωτεϊνών), προκαλώντας τελικά την εξουδετέρωσή τους. Σημειώνεται ότι η δράση του χαλκού ή των κραμάτων του είναι μεγάλης ταχύτητας, όπως επιβεβαιώνουν οι επιστημονικές έρευνες της αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA), σύμφωνα με τις οποίες σε διάρκεια δύο ωρών τα κράματα χαλκού μπορούν να εξουδετερώσουν το 99,9% των παθογό-

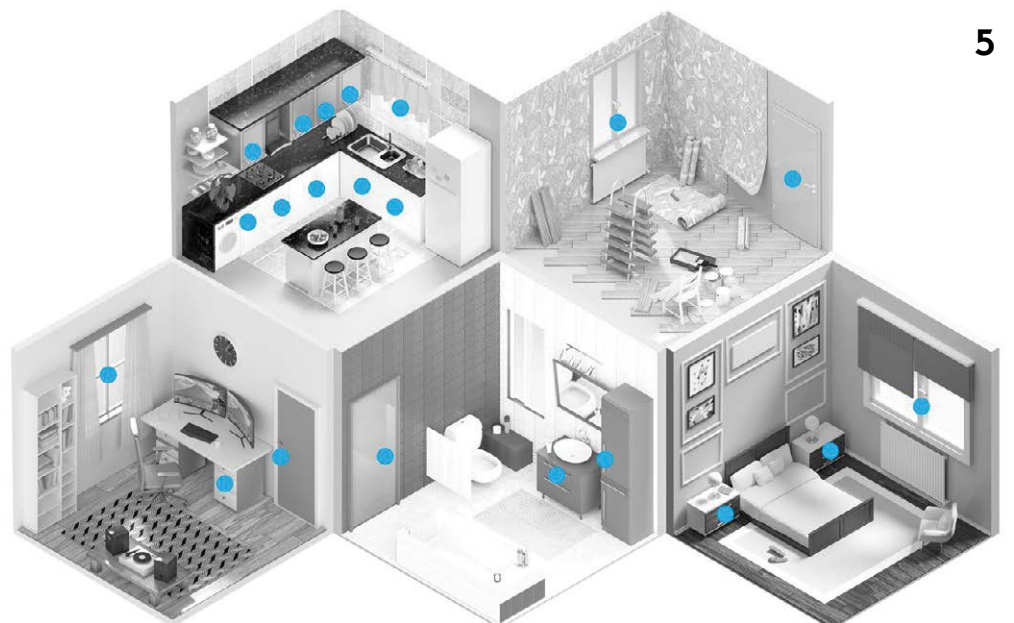
2. Επιλογή λαμπτήρων με απολυμαντικές ιδιότητες, εκτενής χρήση ορείχαλκου και κατασκευή καμπυλόμορφου πάγκου στο Lavazza Flagship Store "Caffetteria" στο Λονδίνο. Αρχιτεκτονική μελέτη: Carlo Ratti Associati. ©Tom Parker.



3. Σε χώρους μεγάλης κινητικότητας, οι επιφάνειες, που συμβάλλουν στην ανάπτυξη και διάδοση των βακτηριδίων και των ιών, χρειάζονται άμεση αντικατάσταση με αντίστοιχες αντιμικροβιακές.

4. Οι υπερυδροφοβικές επιφάνειες έχουν την ικανότητα να αυτοκαθαρίζονται, καθώς οι παθογόνοι μικροοργανισμοί προσκολλώνται στις σταγόνες νερού που πέφτουν επάνω τους.

5. Προϊόντα αφής με αντιμικροβιακά χρώματα. Οι επιφάνειές τους είναι επιστρωμένες με ιόντα αργύρου, ή με κράματα χαλκού για την καταπολέμηση της ανάπτυξης και διάδοσης των βακτηριδίων και των ιών.





νων βακτηριδίων. Λόγω του υψηλού κόστους του υλικού, η χρήση επιφανειών από κράματα χαλκού περιορίζεται σε συγκεκριμένες επιφάνειες πολύ συχνής επαφής και υψηλού κινδύνου μόλυσματικότητας (π.χ. προστατευτικά κιγκλιδώματα και κουμπιά συναγερμού των νοσοκομειακών κλινών, πόμολα κουφωμάτων κ.ά.). Ωστόσο, τελευταία παρασκευάζονται επιφάνειες με υπόστρωμα συνθετικού υλικού και τελική επίστρωση με κράματα χαλκού μικρού πάχους (0,1 mm - 0,5 mm), οι οποίες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας στον καθαρισμό τους (στεγνό καθάρισμα χωρίς την προσθήκη υγρών απολυμαντικών).

Πολυμερικές (συνθετικές) επιφάνειες με βιοκτόνο δράση

Τα πολυμερικά αντιμικροβιακά υλικά δρουν ενεργητικά, εξουδετερώνοντας τους παθογόνους μικροοργανισμούς

- είτε μέσω της απελευθέρωσης ενός βιοκτόνου χαμηλού μοριακού βάρους, όπως π.χ. των ενώσεων Ν-αλαμίνης, που περιέχουν απελευθερώσιμα άτομα αλογόνου ή πολυμερή που περιέχουν μονοξειδίο του αζώτου (NO), το οποίο δρα ως ενεργό είδος οξυγόνου μέσω αντιδράσεων ελεύθερων ριζών,
- είτε μέσω της ηλεκτρικής φόρτισης της επιφάνειάς τους.

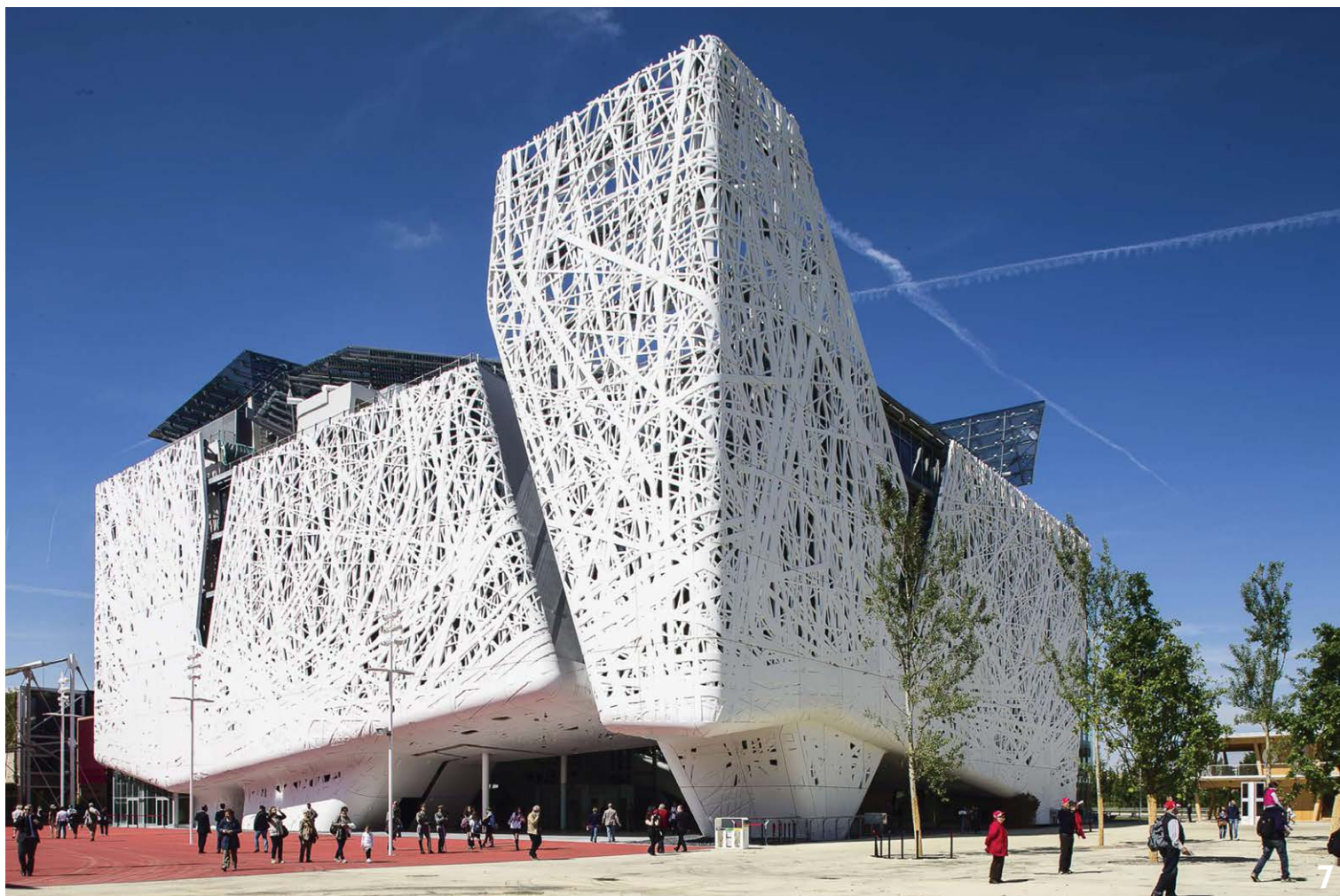
Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν τα κατιονικά πολυμερή, που αλληλεπιδρούν με τις αρνητικά φορτισμένες βακτηριακές μεμβράνες, καταστέλλοντας τη λειτουργία τους και επιφέροντας τον θάνατο των κυττάρων.

Οι πολυμερικές επιφάνειες ή οι επιστρώσεις με αντιμικροβιακή δράση έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα και βρίσκουν μεγάλη ανταπόκριση και σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές λόγω του χαμηλού κόστους και της δυνατότητας παρασκευής αντιβακτηριδιακών υλικών, που προορίζονται για την καταπολέμηση μεγάλου εύρους παθογόνων μικροοργανισμών. Ωστόσο, η επιλογή των κατάλληλων επιφανειών είναι ευθύνη και του μηχανικού, ο οποίος οφείλει να ελέγξει εάν η σύνθεση και η δράση των υλικών είναι σύμφωνη με τα σχετικά πρότυπα ασφαλείας και υγείας. Τέλος, η σύσταση των συνθετικών αντιμικροβιακών επιφανειών καθορίζει και τη μέθοδο καθαρισμού και συντήρησής τους, με τη χρήση ή όχι χημικών απολυμαντικών ουσιών.

Χρήση ειδικών επιφανειών με ενισχυμένη διαβρεκτική ικανότητα

Σ' αυτήν την κατηγορία ιδιαίτερα δημοφιλείς στις αρχιτεκτονικές εφαρμογές είναι οι υπερυδροφίλες και οι υπερυδροφοβικές επιφάνειες ή επιστρώσεις, οι οποίες παρουσιάζουν ανασταλτική δράση έναντι των μικροοργανισμών.

6. Ο σχεδιασμός καθαρών αρχιτεκτονικών γραμμών, χωρίς καμπύλες και πολυεπίπεδες επιφάνειες, σε συνδυασμό με τη χρήση αντιβακτηριδιακών υλικών, συμβάλλει στην ενίσχυση της υγιεινής ενός χώρου.
Πηγή: Laminex.



7. Εμποτισμός σκυροδέματος με οξείδια του τιτανίου για τη δημιουργία αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών στο φημισμένο κτίριο Palazzo Italia.

- **Υπερουδρόφιλες επιφάνειες.** Το νερό της βροχής ή η υγρασία προσκολλώνται και εγκλωβίζονται, λόγω μεγάλης τραχύτητας, στην εξωτερική στρώση, δημιουργώντας μια προστατευτική μεμβράνη με αποτέλεσμα την αναστολή της επικάλυψης των μικροοργανισμών, ενώ παράλληλα λειτουργούν ως αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες. Αυτού του τύπου οι επιφάνειες είναι κατάλληλες για εξωτερικούς, μεγάλους χώρους, στους οποίους ο τακτικός καθαρισμός είναι δυσχερής. Η δράση τους είναι ανασταλτική, ωστόσο, εάν επιστρωθούν με αντιβακτηριδιακές ενώσεις (π.χ. νανοσωματίδια αργύρου), αποκτούν βιοκτόνο λειτουργία και χρησιμοποιούνται για την εξουδετέρωση των βακτηριδίων ή μυκήτων.
- **Υπερουδροφοβικές επιφάνειες.** Εμποδίζουν την προσκόλληση της υγρασίας που δρα συνεργατικά στον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών και είναι κατάλληλες για εσωτερικούς χώρους, στους οποίους προβλέπεται συνήθως στεγνό καθαρίσμο (π.χ. μοκέτες, ταπετσασίες, καλύμματα επίπλων κ.ά.). Ταυτόχρονα, στις υπερυδροφοβικές τραχείες επιφάνειες εγκλωβίζονται μόρια αέρα στις κοιλότητες της εξωτερικής στρώσης, δημιουργώντας μ' αυτόν τον τρόπο μια προστατευτική φυσική μεμβράνη έναντι της επικάλυψης των μικροοργανισμών. Σημειώνεται πάντως ότι πολλά βακτήρια και ιοί βρίσκονται σε υδατικό

διάλυμα κατά τη διάδοσή τους (π.χ. σε σάλιο, ούρα), με αποτέλεσμα να μην μπορούν να προσκολληθούν σε μια υδροφοβική επιφάνεια.

Ηλιακή φωτοκατάλυση ως μέθοδος απολύμανσης

Οι επιφάνειες που ενεργοποιούν την αντιμικροβιακή τους δράση μέσω της έκθεσής τους σε φως αποτελούνται από νανοσωματίδια ενός φωτοκαταλύτη. Η έκθεση του φωτοκαταλύτη στο φως οδηγεί στη δημιουργία διεγερμένων ενεργειακών σταθμών, οι οποίες θέτουν σε εφαρμογή αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Σύμφωνα με αυτές, οι παραγόμενες ρίζες υδροξυλίου δύνανται να εξουδετερώσουν τον κυτταρικό σχηματισμό βακτηριδίων, ιών, μυκήτων και άλλων βλαβερών μικροοργανισμών.

Ταυτόχρονα η διεργασία της φωτοκατάλυσης δημιουργεί επιφάνειες με υπερυδρόφιλη συμπεριφορά. Η υπερυδρόφιλη συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα την προσρόφηση του νερού με μηδενική γωνία επαφής και τη δημιουργία λεπτών υμένων νερού επάνω στην επιφάνεια του φωτοκαταλύτη, οι οποίοι εμποδίζουν τη συσσώρευση μικροβίων και ταυτόχρονα καθαρίζουν την εξωτερική στρώση (αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες). Ο σημαντικότερος φωτοκαταλύτης



8

με ευρεία χρήση και σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές είναι το διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2), το οποίο συγκεντρώνει μια σειρά πλεονεκτημάτων, μεταξύ των οποίων η ευκολία χρήσης, η μη τοξικότητά του και το λευκό χρώμα που αποδίδει στις επιφάνειες. Είναι συνήθης τακτική η επίστρωση των πορωδών δομικών υλικών (π.χ. σκυροδέματος) με φωτοκαταλύτες, όπως το διοξειδίο του τιτανίου ή το οξειδίο του ψευδαργύρου, με σκοπό τη δημιουργία αυτοκαθαριζόμενων - αντιβακτηριδιακών επιφανειών.

Ιδιότητες αντιβακτηριδιακών επιφανειών για αρχιτεκτονικές εφαρμογές

Οι αντιβακτηριδιακές επιφάνειες οφείλουν να πληρούν ορισμένα κριτήρια, ώστε να καθίστανται κατάλληλες για ποικίλες αρχιτεκτονικές εφαρμογές:

- Ευκολία στον καθαρισμό, ανθεκτικότητα στη διαβρωτική δράση όξινων ή αλκαλικών χημικών ουσιών, που εμπεριέχονται σε καθαριστικά και απολυμαντικά.
- Ασφάλεια έναντι της ανθρώπινης ζωής και του περιβάλλοντος. Χρήση αυτών των επιφανειών με ενσωματωμένα χημικά πρόσθετα με αντιβακτηριδιακές ιδιότητες, τα οποία δεν εμπεριέχουν επιβλαβείς ουσίες για την υγεία και το περιβάλλον. Τα προϊόντα που συντίθενται από μέταλλα ή

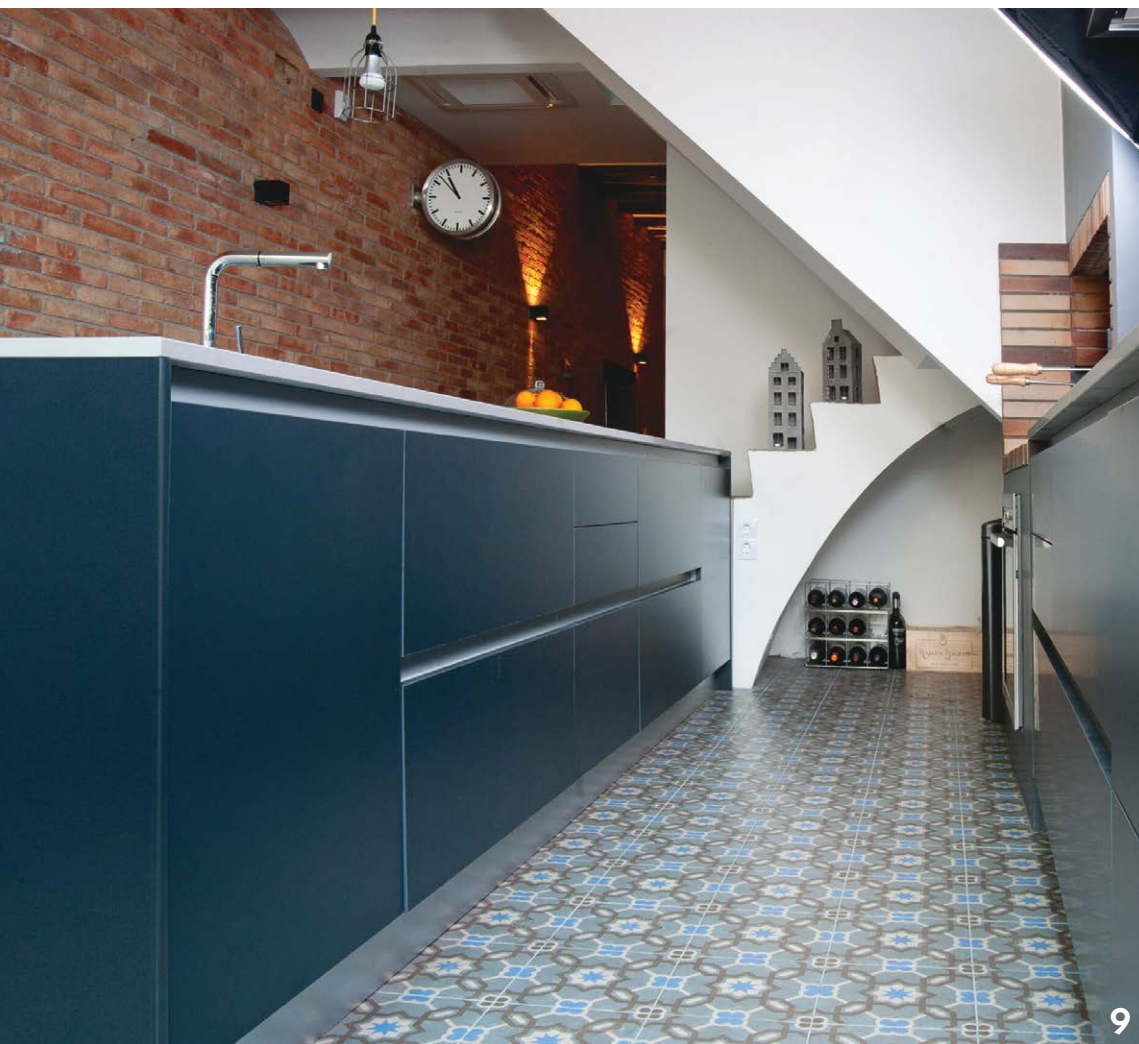
οξειδία των μετάλλων και παρουσιάζουν αντιβακτηριδιακή δράση, πλεονεκτούν έναντι των πρόσμεικτων χημικών υλικών.

- Αντιβακτηριδιακή δράση σε μεγάλο εύρος βακτηριδίων, μυκήτων και ενδοκυτταρικών και ιών για τη δυνατότητα εφαρμογής σε διαφορετικά περιβάλλοντα.
- Διαθεσιμότητα σε ποικιλία υφής και χρώματος για την απόδοση λύσεων αρχιτεκτονικής αισθητικής.
- Δυνατότητα επικάλυψης - επίστρωσης μεγάλων επιφανειών χωρίς την παρουσία αρμών, οι οποίοι συνιστούν κοιλότητες κατακράτησης υγρασίας και εγκλωβισμού μικροοργανισμών.

Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός με γνώμονα την υγειονομική προστασία

Τελευταία, έχει παρατηρηθεί μεγάλη ώθηση στην εφαρμογή των αντιβακτηριδιακών επιφανειών όχι μόνο σε χώρους που χρειάζονται θωράκιση έναντι διασποράς των μικροβίων, όπως οι νοσοκομειακοί χώροι ή οι βιομηχανίες παρασκευής τροφίμων, αλλά και σε χώρους κοινής χρήσης ή μεγάλης κινητικότητας, όπως οι χώροι υγιεινής (δημόσιοι ή ιδιωτικοί), τα εστιατόρια, τα μπαρ, οι ξενοδοχειακές μονάδες, τα εκπαιδευτικά κτίρια, οι ανοικτοί χώροι συνάθροισης (δημόσια πάρκα, συναυλιακοί χώροι) και οι κλειστοί χώροι συνά-

8. Αντιμικροβιακές επιφάνειες στα κεντρικά γραφεία της εταιρείας "Vistaprint / Cimpres". Αρχιτεκτονική μελέτη: Margulies Perruzzi Architects. ©Margulies Perruzzi.



9

9. Οι πολυστρωματικές επιφάνειες HPL με αντιβακτηριδιακές ιδιότητες σε συνδυασμό με προϊόντα καθαρισμού μπορούν να συμβάλουν στην υγιεινή των χώρων, καθώς δεν επιτρέπουν τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων.
©Transformad.

θροισής (μέσα μεταφοράς, συνεδριακά κέντρα, κινηματογράφοι κτλ.). Η δράση αυτών των επιφανειών μπορεί να ενισχυθεί με μία σειρά αρχιτεκτονικών εφαρμογών με γνώμονα την υγιεινή των χώρων, όπως με τις παρακάτω:

- Δημιουργία μεγάλων επιφανειών, χωρίς αρμούς. Σε περίπτωση που η αρμολόγηση δεν μπορεί να αποφευχθεί, προτείνεται η εφαρμογή υλικών με αντιμικροβιακή δράση.
- Αποφυγή πολυεπίπεδων επιφανειών, ώστε να διευκολύνεται ο καθαρισμός τους και να μη δημιουργούνται "σκοτεινά" σημεία συσσώρευσης σκόνης και ανάπτυξης μικροβίων.
- Αποφυγή δημιουργίας οξείων γωνιών μεταξύ των γεωμετρικών όγκων και των επιφανειών.
- Προτίμηση των καμπύλων συνδέσεων μεταξύ διαφορετικών επιφανειών ή κατά την αλλαγή προσανατολισμού.
- Δημιουργία ανοικτών χώρων, με έμφαση στον φυσικό ή μηχανικό αερισμό.

Συνοψίζοντας, απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή επιλογή μιας αντιβακτηριδιακής επιφάνειας είναι η αξιολόγηση της δράσης της για ένα μεγάλο εύρος βακτηριδιακών στελεχών και ιών, σε συνδυασμό με τη διάρκεια λειτουργίας της, ώστε να γίνεται επανατοποθέτησή της ανά τακτά διαστήματα μετά το πέρας του χρόνου δράσης της αντιβακτηριδιακής επίστρωσης. Τέλος, είναι σημαντική η αναζήτηση αυτών των επιφανειών, οι οποίες συμμορφώνονται με αναγνωρισμένα πιστοποιητικά και πρότυπα ασφαλείας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- I. Klapiszewska et al., **Production of antibacterial cement composites containing ZnO / lignin and ZnO - SiO₂ / lignin hybrid admixtures**, Cement and Concrete Composites 124, 2021
- U.Mahanta, M. Khandelwal, and A. S. Deshpande, **Antimicrobial surfaces: a review of synthetic approaches, applicability and outlook**, J Mater Sci. 56 (32), 2021.
- **Surface design for antibacterial materials: from fundamentals to advanced strategies**, Advanced Science, Vol 8 (19), 2021.
- E., Elashnikov et al., **Physically switchable antimicrobial surfaces and coatings: general concept and recent achievements**, MDP1, 11, 2021.
- Bea Spolidoro, **Healthy buildings: How architecture can defend us from COVID-19**, Workdesign Magazine, 2020.
- Μ. Αντωνίου, **Το διοξείδιο του τιτανίου στη σύγχρονη βιομηχανία**, μεταπτυχιακή διατριβή, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2016.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ΣΤΟ "ΚΤΙΡΙΟ"

- **Βαφές νέας γενιάς σε χώρους υψηλών απαιτήσεων**. Τεύχος 1/2016, σελ. 83.
- **Φωτοκαταλυτικά αυτοκαθαριζόμενα δομικά υλικά**. Τεύχος 2/2011, σελ. 93.
- **Δάπεδα νοσοκομείων για υγιεινές και ανθεκτικές επιφάνειες**. Τεύχος 184, σελ. 92.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ & ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΡΘΡΑ στην ιστοσελίδα www.ktirio.gr