



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο Επιστήμης & Τεχνικής των Υλικών

Προγράμματα αναπτυξιακής συνεργασίας - εκπαιδευτικές προοπτικές για την προστασία της κοινής πολιτιστικής κληρονομιάς με έμφαση στην αναπτυξιακή συνεργασία Ελλάδας - Τουρκίας για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η Αγιά-Σοφιά ως υπόδειγμα ολοκληρωμένης διεθνούς διεπιστημονικής πρότασης προστασίας. Προετοιμασία του σεμιναρίου ELAICH.

Διαγνωστική μελέτη των υλικών των ψηφιδωτών του τρούλου της Αγίας-Σοφιάς
Αποτίμηση της συμβατότητας παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης στα ψηφιδωτά του τρούλου της Αγίας-Σοφιάς με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών

Α. Μοροπούλου, Αικ. Θ. Δελέγκου,



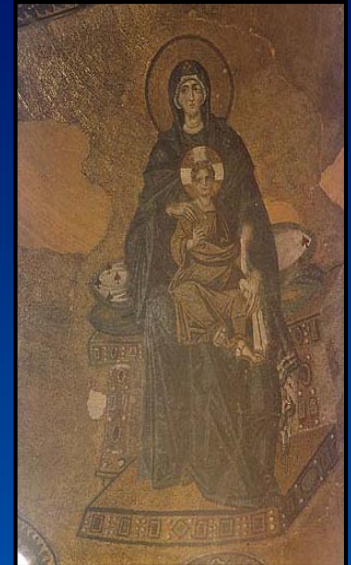
Ευρω - Μεσογειακό διήμερο
Εκπαίδευση στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς για τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης - ο ρόλος των Πολυτεχνείων, των Μηχανικών και της Βιομηχανίας

23 & 24 Φεβρουαρίου 2010,

Εμπορικό και Βιομηχανικό Επιμελητήριο Αθηνών



Αγία Σοφία

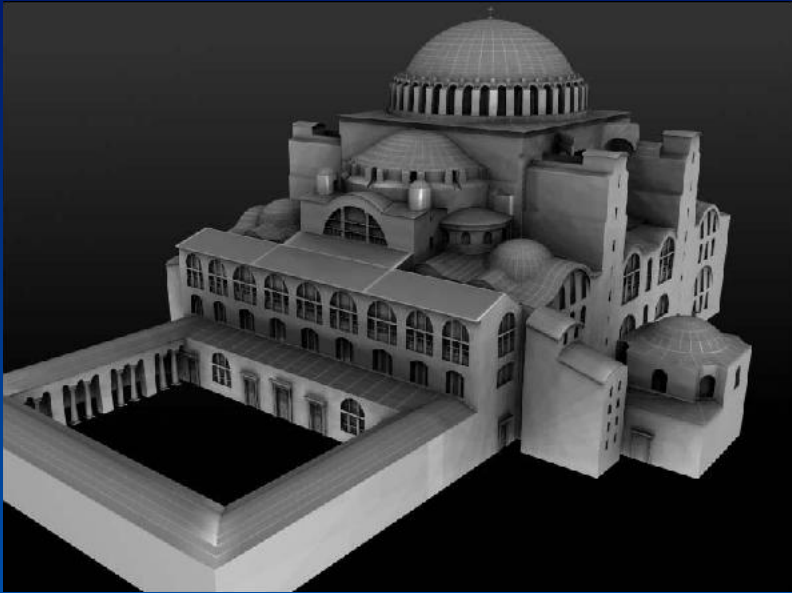


Μνημείο της Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO

- 3^η εκκλησία με το ίδιο όνομα που ανεγέρθηκε στον ίδιο χώρο (1^η = 360 μ.Χ., 2^η = 415 μ.Χ., 3^η = 537 μ.Χ [Ιουστινιανή])



Αρχιτεκτονική της Αγίας Σοφίας



- Το βάρος του τρούλου υποστηρίζεται από τα δύο ημιθόλια στην ανατολή και την δύση, τις αψίδες στις 4 γωνίες του κυρίως ναού, και τα τεράστια αντιστοιχίσματα στην βόρεια και νότια πλευρά
- Η εκκλησία έχει διαστάσεις 77 x 79 m και ο επιβλητικός τρούλος που βρίσκεται στα 62 m πάνω από το έδαφος έχει διάμετρο 33m.



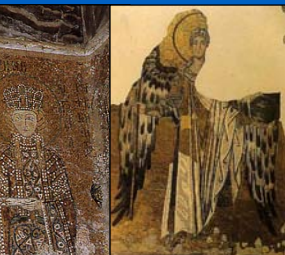
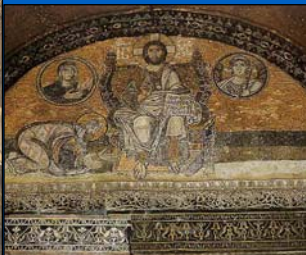
Ιστορία της Αγίας Σοφίας (I)

- Σχεδιάστηκε από τον Ανθέμιο και τον Ισίδωρο το 532 μετά από εντολή του αυτοκράτορα Ιουστινιανού και παραδόθηκε στις 26 / 12 / 537
- Σειρά σεισμών λαμβάνει χώρα μεταξύ 553-557
- Το 558 μετά από έναν ισχυρό σεισμό κατέρρευσε το ανατολικό τμήμα του τρούλου καθώς και η αντίστοιχη αψίδα και το ημιθόλιο:
 - ανακατασκευή μέχρι το 563 από τον Ισίδωρο το Νεώτερο στη σημερινή του μορφή
- Σειρά σεισμών τον 9^ο- 10^ο αι. είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών στον τρούλο. Το 989, μέρος του τρούλου και της ανατολικής αψίδας καταρρέει:
 - ανακατασκευή μέχρι το 996 από τον Αρμένιο Αρχιτέκτονα *Trdat*
- Το εσωτερικό της εκκλησίας υπέφερε κατά την διάρκεια των λεηλασιών των Λατίνων στην Πόλη το 1204, οπότε και αφαιρέθηκαν όλα τα ιερά λείψανα και πολύτιμα αντικείμενα.
- Ο τρούλος υπέστη μερική κατάρρευση το 1346
 - ανακατασκευή μέχρι το 1355
- Το 1453, η Αγία Σοφία μετατρέπεται σε τζαμί (*Ayasofya Camii*), από τον Sultan Mehmet II. Το κτίριο συντηρείται ικανοποιητικά κατά την διάρκεια της Οθωμανικής περιόδου

Ιστορία της Αγίας Σοφίας (II)



- Την περίοδο 1847 - 1849 πραγματοποιήθηκε η επέμβαση από τους Ελβετούς αρχιτέκτονες Gaspare και Giuseppe **Fossati**. Τα ψηφιδωτά που υπήρχαν, καθαρίστηκαν από τα επιχρίσματα με τα οποία είχαν καλυφθεί κατά την προηγούμενη Οθωμανική περίοδο. Τα ψηφιδωτά επανακαλύφθηκαν για προστασία.
- Στις αρχές του 20ου αιώνα πραγματοποιήθηκε η επέμβαση **Vakif** (Ίδρυμα στα Τουρκικά) από το **Central Directorate of Pious Foundations**.
- Το 1932 το **Βυζαντινό Ινστιτούτο** με επικεφαλής τον **Thomas Whittemore** ξεκινά το έργο της αποκάλυψης των ψηφιδωτών και αποκατάστασης των εναπομεινάντων (αρκετά είχαν εξαφανισθεί από την επέμβαση Fossati). Το κτίριο άνοιξε το 1934 ως μουσείο, και η **αποκατάσταση ολοκληρώθηκε το 1964**.



Ψηφιδωτά Αγίας Σοφίας



Χαρακτηριστικές περιοχές του τρούλου της Αγ. Σοφίας είναι:

- τα ψηφιδωτά του 6ου αιώνα (στο βόρειο και το νότιο τμήμα του τρούλου)
- τα ψηφιδωτά του 10ου αιώνα (στο δυτικό τμήμα του τρούλου)
- τα ψηφιδωτά του 14ου αιώνα (στο ανατολικό τμήμα του τρούλου)
- οι επιφάνειες της αποκατάστασης των Fossati (1847-47)
- οι επιφάνειες της αποκατάστασης Vakif (μετά το 1910)

Ψηφιδωτά Αγίας Σοφίας

Ψηφιδωτά 6ου αι.

Οι ψηφίδες αυτής της περιόδου είναι αρκετά ομοιόμορφες και συμμετρικές στο μέγεθος (6mm x 7mm κατά μέσο όρο).

Οι χρυσές και ασημένιες ψηφίδες είναι τύπου 'sandwich' και διαθέτουν υψηλή ποιότητα όσον αφορά στα υλικά και στην τεχνική της κατασκευής. Το παχύτερο στρώμα γυαλιού που βρίσκεται στη βάση των χρυσών ψηφίδων έχει το χαρακτηριστικό χρώμα του κεχριμπαριού, ενώ η επιφανειακή λεπτή στοιβάδα γυαλιού είναι διαφανής για να φαίνονται τα τουλάχιστον δύο φύλλα χρυσού που τοποθετούνταν ανάμεσά τους.

Οι χρυσές ψηφίδες αυτής της περιόδου τοποθετούνταν με πολύ πυκνή διάταξη, περίπου 180 ψηφίδες ανά 100cm², προκαλώντας μεγάλη ανάκλαση του φωτός, ενώ η διάταξη των ασημένιων ήταν λίγο πιο αραιή, 160 ψηφίδες ανά 100cm²

Ψηφιδωτά 10ου αι.

Υπάρχουν αρκετά στοιχεία που πιστοποιούν την επανάχρηση των υλικών του 6ου αιώνα, ενώ χρησιμοποιήθηκαν σαν διακοσμητικά στοιχεία αδιαφανείς γυάλινες ψηφίδες διαφόρων χρωματισμών (μπλε, πράσινες, πορφυρές).

Οι χρυσές ψηφίδες αυτής της περιόδου τοποθετούνταν με πιο αραιή διάταξη, περίπου 160 ψηφίδες ανά 100cm², με αποτέλεσμα η ανάκλαση του φωτός να μειώνεται κατά 10%, ενώ η διάταξη των ασημένιων παρέμεινε ίδια, 160 ψηφίδες ανά 100cm²

Ψηφιδωτά Αγίας Σοφίας

Ψηφιδωτά 14ου αι.

Η ποιότητα όσον αφορά στα υλικά και στην τεχνική της κατασκευής είναι σαφώς υποβαθμισμένη αφού σε αυτήν την περίοδο παρακμάζει τόσο η παραδοσιακή τεχνική κατασκευής ψηφιδωτών, όσο και η οικονομία.

Η διάταξη των ψηφίδων είναι πολύ αραιή (για τις χρυσές περίπου 140 ψηφίδες ανά 100cm^2 , με αποτέλεσμα η ανάκλαση του φωτός να μειώνεται κατά 25%, ενώ για τις ασημένιες 40 ανά 100cm^2) και ο προσανατολισμός τους ακανόνιστος.

Για την ανακατασκευή και συμπλήρωσή τους χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι αδιαφανών γυάλινων ψηφίδων πράσινου, κόκκινου και καφέ χρωματισμού, ενώ οι μπλε ψηφίδες είναι σπάνιες και υποκαταστάθηκαν από μαύρες. Ψηφίδες λευκού μαρμάρου υποκατέστησαν τις ασημένιες, ενώ επαναχρησιμοποιήθηκαν χρυσές ψηφίδες του 6ου αιώνα ακόμα και όταν είχε αποκολληθεί η διαφανής λεπτή επιφανειακή στοιβάδα γυαλιού και τα φύλλα χρυσού.

Ψηφιδωτά Αγίας Σοφίας - Παλαιότερες Επεμβάσεις Συντήρησης

Αποκατάσταση Fossati

Μεγάλης έκτασης αποκατάσταση του τρούλου, και γενικότερα του εσωτερικού του ναού, έγινε από τους Ελβετούς Αρχιτέκτονες Gaspare και Giuseppe Fossati από το 1847- 49.

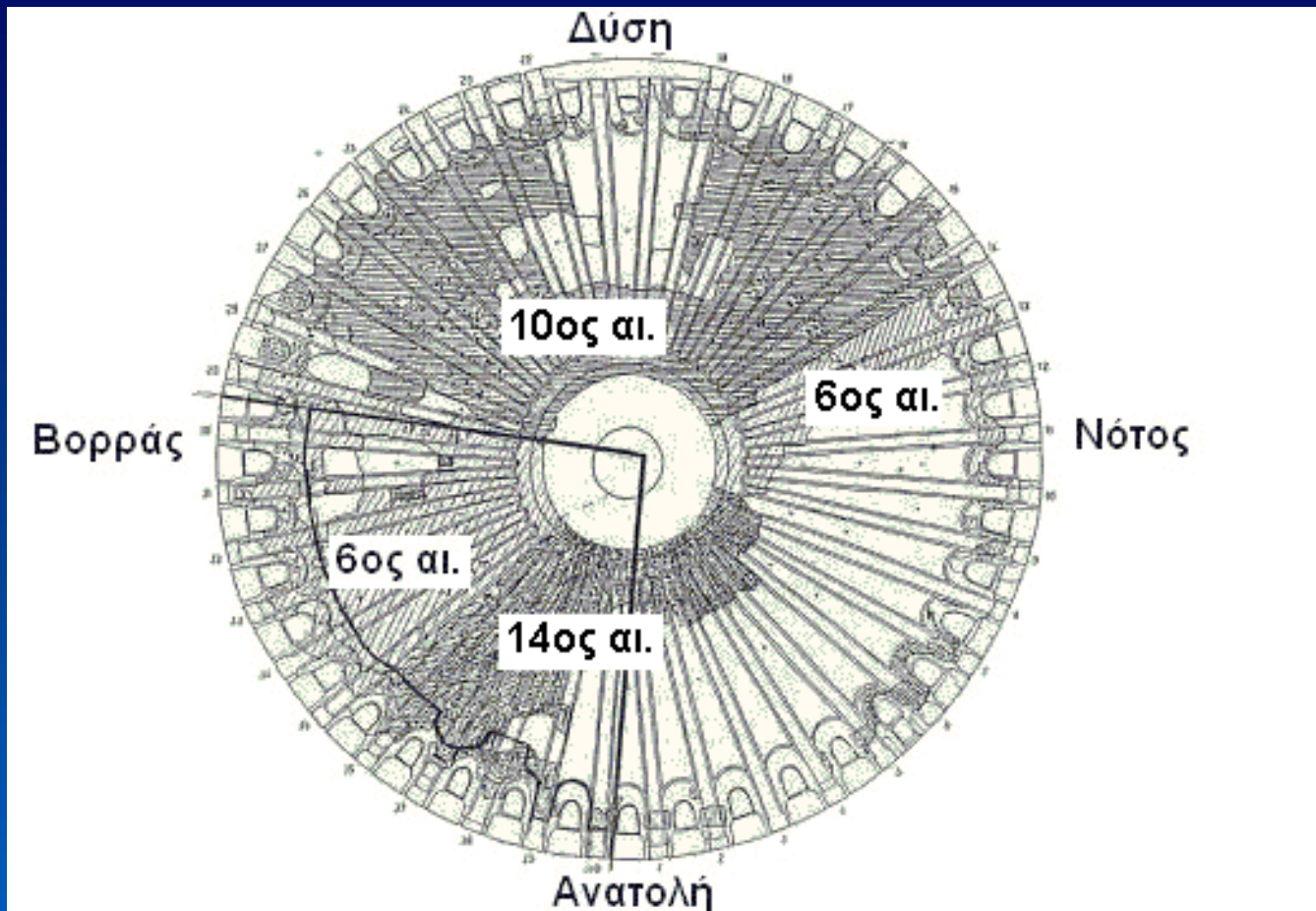
Οι επεμβάσεις αυτές περιελάμβαναν τη χρήση λαδιού ώχρας ή τέμπερας σε υπόστρωμα ασβέστη, τα οποία επικαλύπτονταν με φύλλα χρυσού (απομίμηση χρυσών ψηφίδων). Το κόκκινο επαναλαμβανόμενο μοτίβο-αποτύπωμα τοποθετήθηκε για να αποδοθούν τα όρια των ψηφίδων.

Τέλος οι επιφάνειες αυτές επικαλύφθηκαν με βερνίκι λάκας για να αποδοθεί η λαμπρότητα και η γυαλάδα των αυθεντικών ψηφιδωτών.

Αποκατάσταση Vakif

Οι δεύτερες επεμβάσεις αποκατάστασης (αποκατάσταση Vakif, δηλαδή Ίδρυμα στα Τουρκικά) πραγματοποιήθηκαν στον τρούλο (και γενικότερα στο εσωτερικό του ναού), από το Central Directorate of Pious Foundations μετά το 1910.

Το επίχρισμα αυτής της δεύτερης αποκατάστασης επικαλύπτεται με αδιαφανή κίτρινη χρωστική σε κολλώδες μέσο, ενώ τα αποτυπώματα που αποδίδουν τα όρια των ψηφίδων, (ακολουθήθηκε η λογική Fossati), έχουν διπλάσιο σχεδόν μέγεθος. Η χρωματική αυτή επίστρωση επικάλυψε ψηφιδωτά και επιχρίσματα Fossati, ενώ συμπλήρωσε τα κατεστραμμένα τμήματα της αποκατάστασης Fossati.

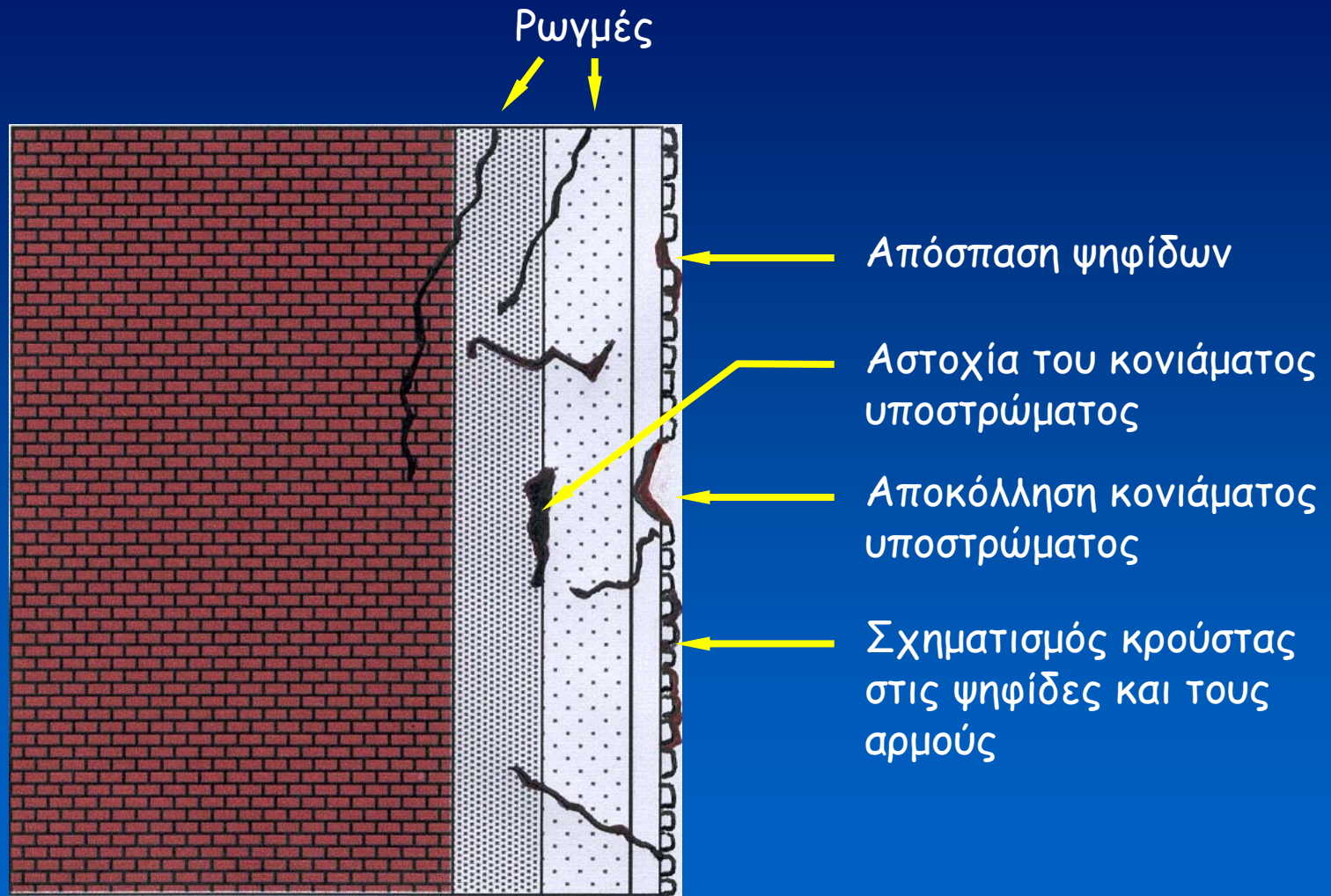


Σχέδιο της διεθνούς ομάδας συντήρησης της UNESCO για τα εναπομείναντα ψηφιδωτά του τρούλου. Έχουν προστεθεί οι χρονικές περίοδοι κατασκευής των ψηφιδωτών. Τα λευκά σημεία αντιστοιχούν σε επιχρισμένες επιφάνειες ή κενές επιφάνειες χωρίς ψηφίδες.

Παράγοντες φθοράς ψηφιδωτών

- Η παρουσία υγρασίας αποτελεί την κυριότερη αιτία φυσικών και χημικών μεταβολών στα υλικά κατασκευής ενός ψηφιδωτού (διάβρωση από παγετό, διαλυτά άλατα)
- Η ατμοσφαιρική ρύπανση (γυψοποίηση, κρούστες)
- Οι μηχανικές καταπονήσεις (σεισμός, θερμοκρασιακές διακυμάνσεις)
- Οι βιολογικοί παράγοντες (ανάπτυξη χλωρίδας)
- Ασυμβατότητα επεμβάσεων αποκατάστασης

Φθορά εντοίχιου ψηφιδωτού



Διαγνωστική μελέτη των υλικών των
ψηφιδωτών του τρούλου της Αγιάς-Σοφιάς

Μεταλλικές ψηφίδες 6ου αι.

Εξεταζόμενα Δείγματα - Τεχνικές Εξέτασης

Οι γυάλινες ψηφίδες των ψηφιδωτών του τρούλου της Αγίας Σοφίας παρασκευάσθηκαν με τη χρήση της τεχνικής "sandwich" (γυαλί βάσης, μεταλλικά φύλλα, λεπτό επιφανειακό γυαλί).

Πραγματοποιείται μικροσκοπική εξέταση δύο γυάλινων ψηφίδων κατασκευασμένων με την τεχνική "sandwich", εκ των οποίων η μία αποτελείται από φύλλα χρυσού και η άλλη από φύλλα αργύρου.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι μικροσκοπικές τεχνικές χαμηλής μεγέθυνσης:

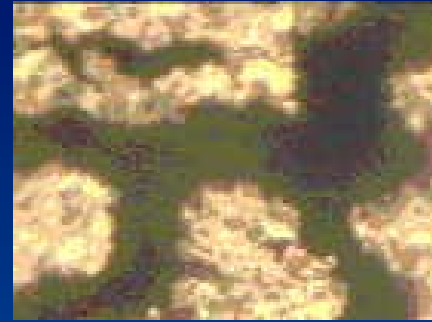
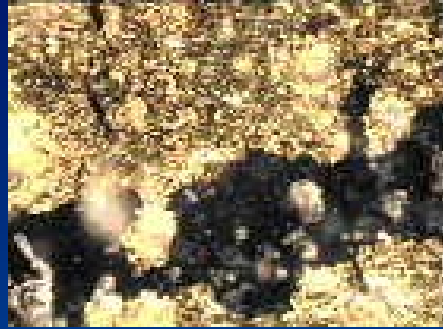
- Μικροσκοπία Οπτικών Ινών
- Οπτική Μικροσκοπία
- Στερεομικροσκοπική Ανάλυση.

Χρησιμοποιείται επίσης Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης για τη λήψη μεγαλύτερων μεγεθύνσεων.

Σε συνδυασμό με την Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης χρησιμοποιείται και η Ανάλυση Διαχωρισμού Ενέργειας (Energy Dispersive Analysis (EDAX)) για την ανίχνευση των στοιχείων που εντοπίζονται κατά την ανάλυση της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης.

Αποτελέσματα Μικροσκοπικής Εξέτασης των Ψηφίδων

Γυάλινη ψηφίδα με φύλλα χρυσού



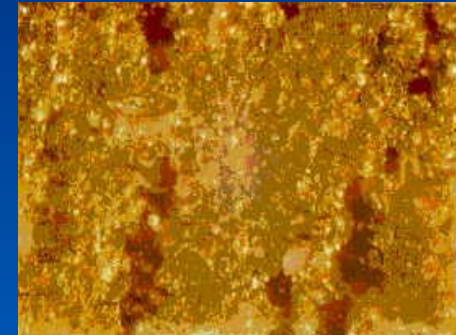
FOM (x25, x200, x600)



OM (x50, x100)



SM (x16, x24)

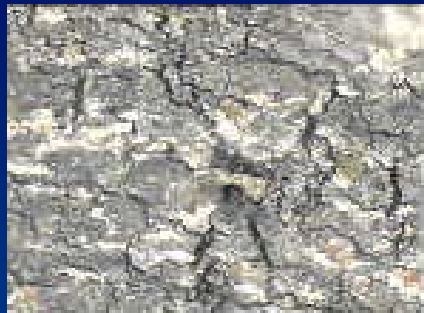
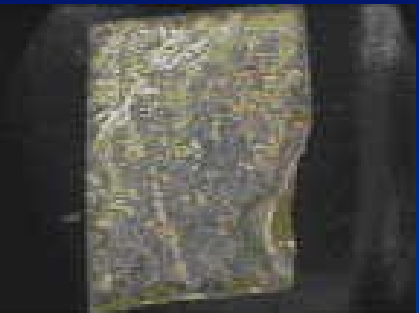


Η γυάλινη ψηφίδα με φύλλα χρυσού, ακόμα και σε μικρή μεγέθυνση, παρουσιάζει μικρορωγμές στα φύλλα χρυσού. Το λεπτό γυάλινο επιφανειακό στρώμα της ψηφίδας εμφανίζει «φυσαλίδες» σε μεγέθυνση. Οι «φυσαλίδες» αυτές μπορούν να αποδοθούν στην τεχνολογία κατασκευής του γυαλιού καθώς και στην παρατεταμένη έκθεση του ψηφιδωτού στο διαβρωτικό περιβάλλον της Αγίας Σοφίας. Η υγρασία, η θερμοκρασία και η ηλιακή έκθεση αποτελούν ορισμένους από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς του λεπτού επιφανειακού στρώματος της ψηφίδας. Οι παράγοντες αυτοί οδηγούν επίσης στη φθορά των φύλλων χρυσού και στις μικρορωγμές.

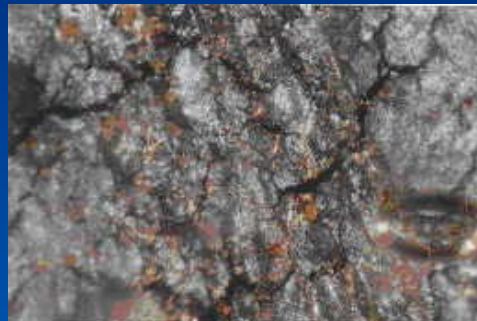
Βιβλ. Αναφορές [14], [15], [16]

Αποτελέσματα Μικροσκοπικής Εξέτασης των Ψηφίδων

Γυάλινη ψηφίδα με φύλλα αργύρου



FOM (x25, x200, x600)



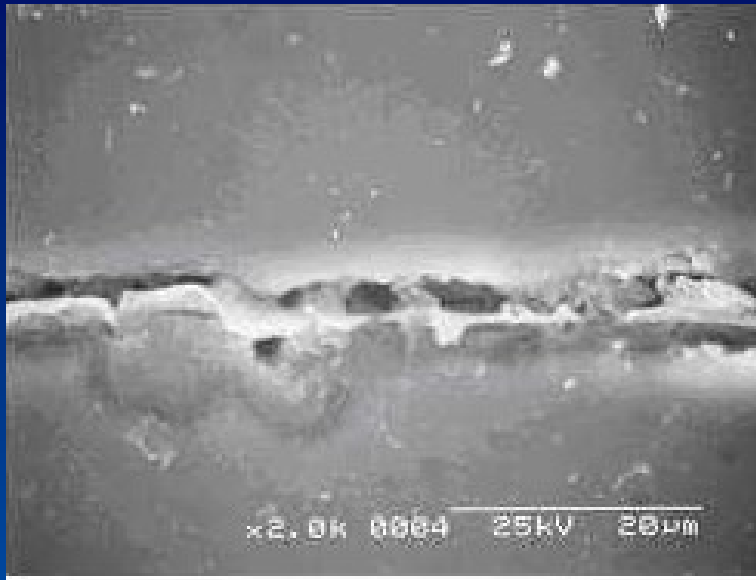
OM (x50)

SM (x16)

Η γυάλινη ψηφίδα με φύλλα αργύρου παρουσιάζει ενδείξεις της ακατάλληλης κατάστασης της επιφάνειας, καθώς παρατηρούνται γδαρσίματα και κηλίδες στο λεπτό επιφανειακό στρώμα. Αυτά γίνονται πιο εμφανή σε μεγαλύτερες μεγεθύνσεις. Επίσης, παρατηρούνται μικρά ραγίσματα στα φύλλα αργύρου. Η γυάλινη ψηφίδα με φύλλα αργύρου εμφανίζει κηλίδες και φυσαλίδες στο λεπτό επιφανειακό στρώμα γυαλιού, λόγω της τεχνολογίας κατασκευής. Παρατηρούνται επίσης μικρορωγμές και ορισμένες καφέ κηλίδες, που αποδίδονται στη διάβρωση των ασημένιων φύλλων.

Βιβλ. Αναφορές [14], [15], [16]

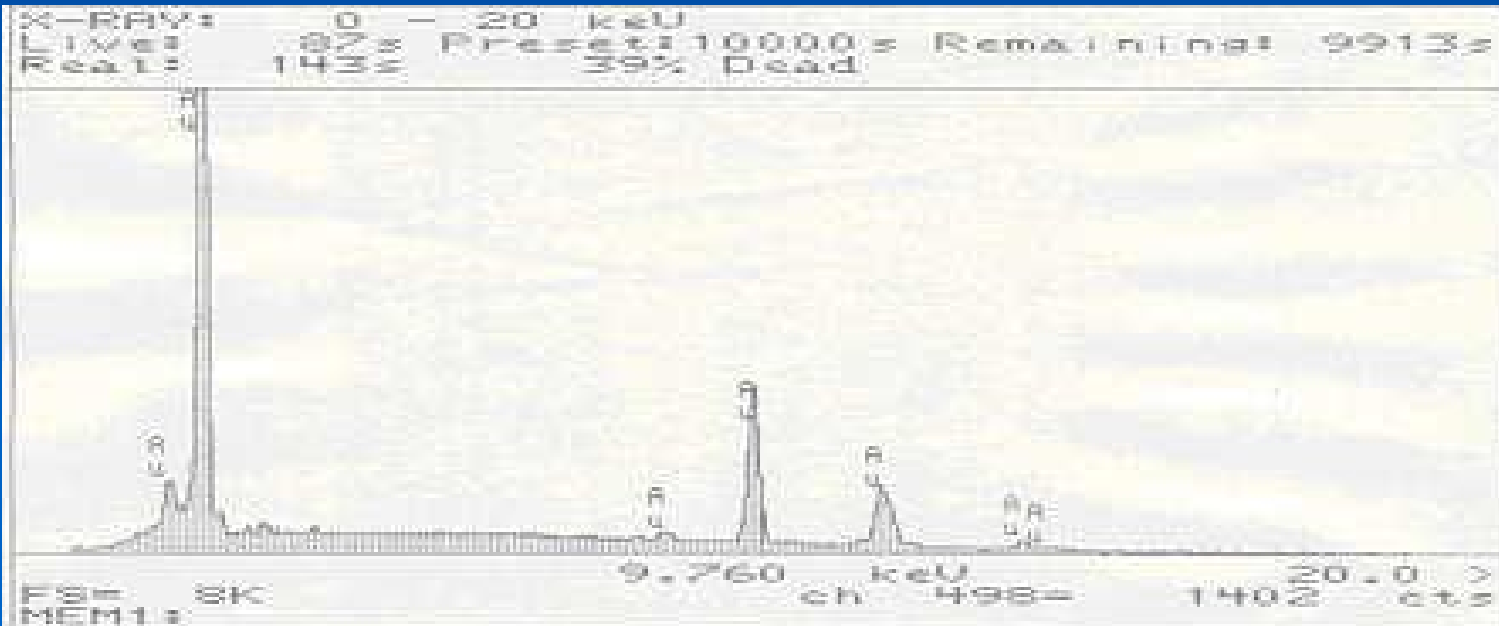
Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης



Γυάλινη ψηφίδα με φύλλα χρυσού

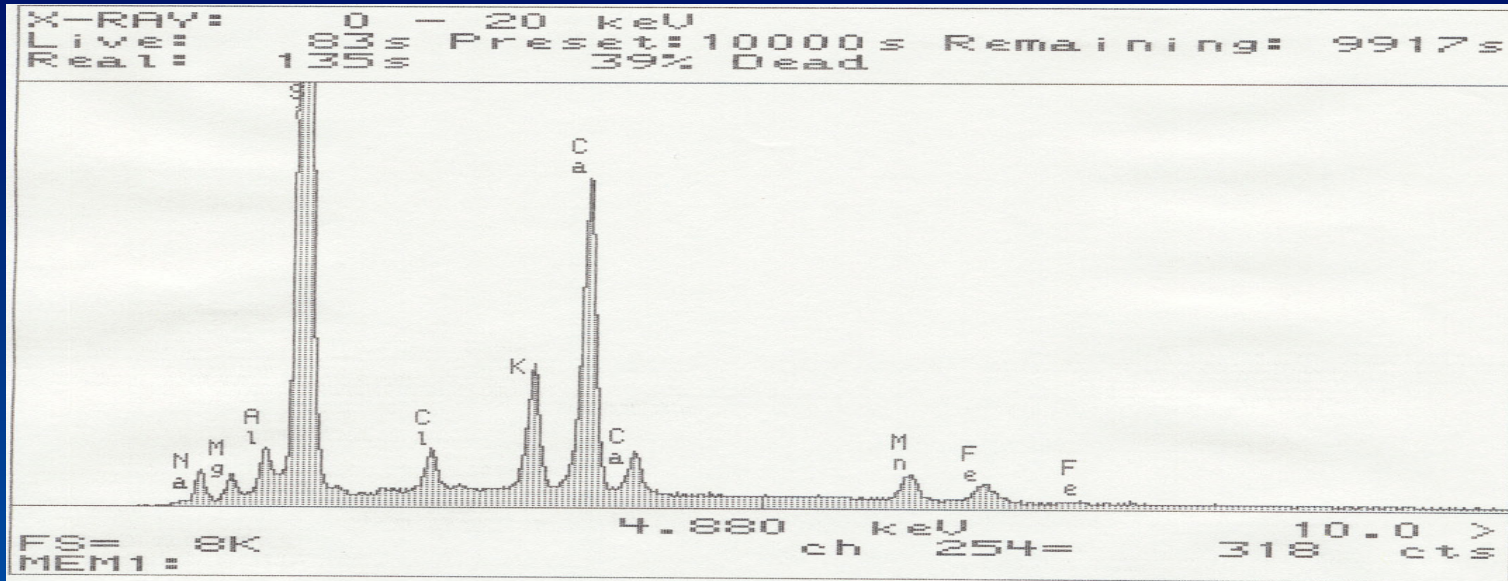


Χαρτογράφηση του χρυσού στη γυάλινη ψηφίδα



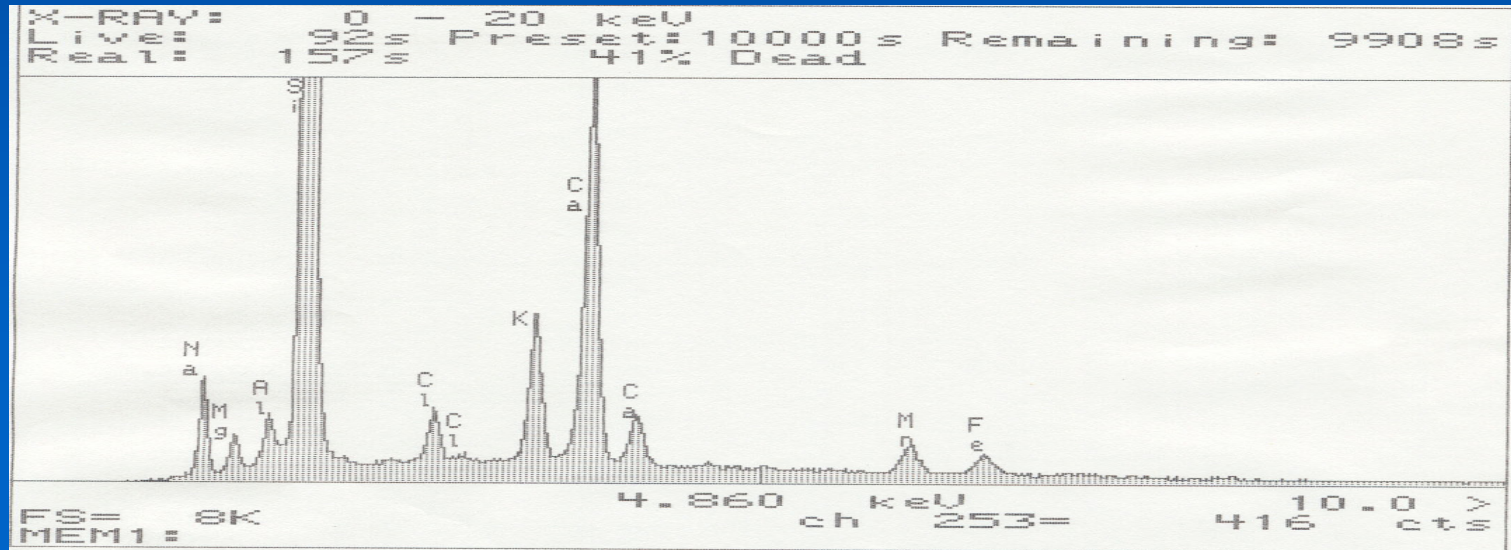
Γυάλινη ψηφίδα - Φύλλο χρυσού

Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης

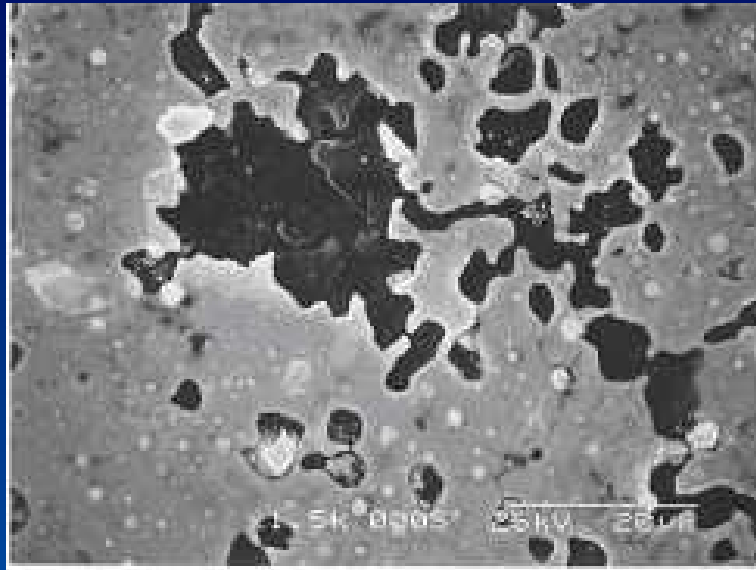


Γυάλινη
ψηφίδα με
φύλλο
χρυσού-Γυαλί
βάσης

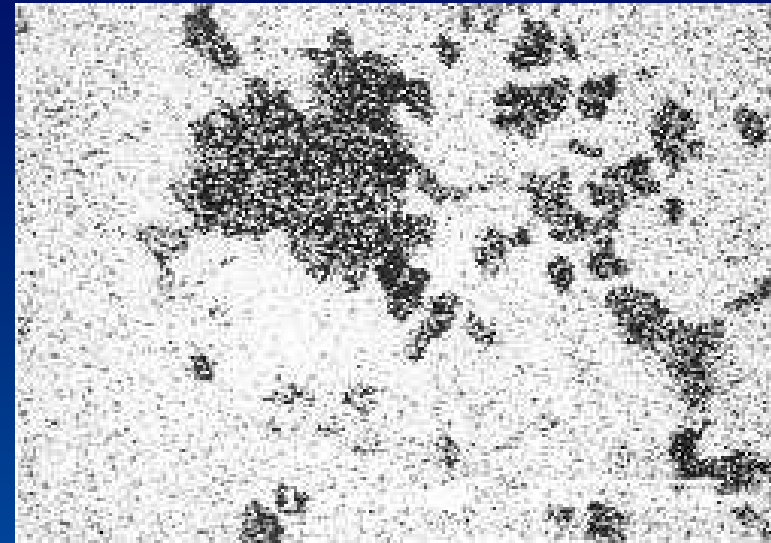
Γυάλινη
ψηφίδα -
Λεπτό
στρώμα
γυαλιού



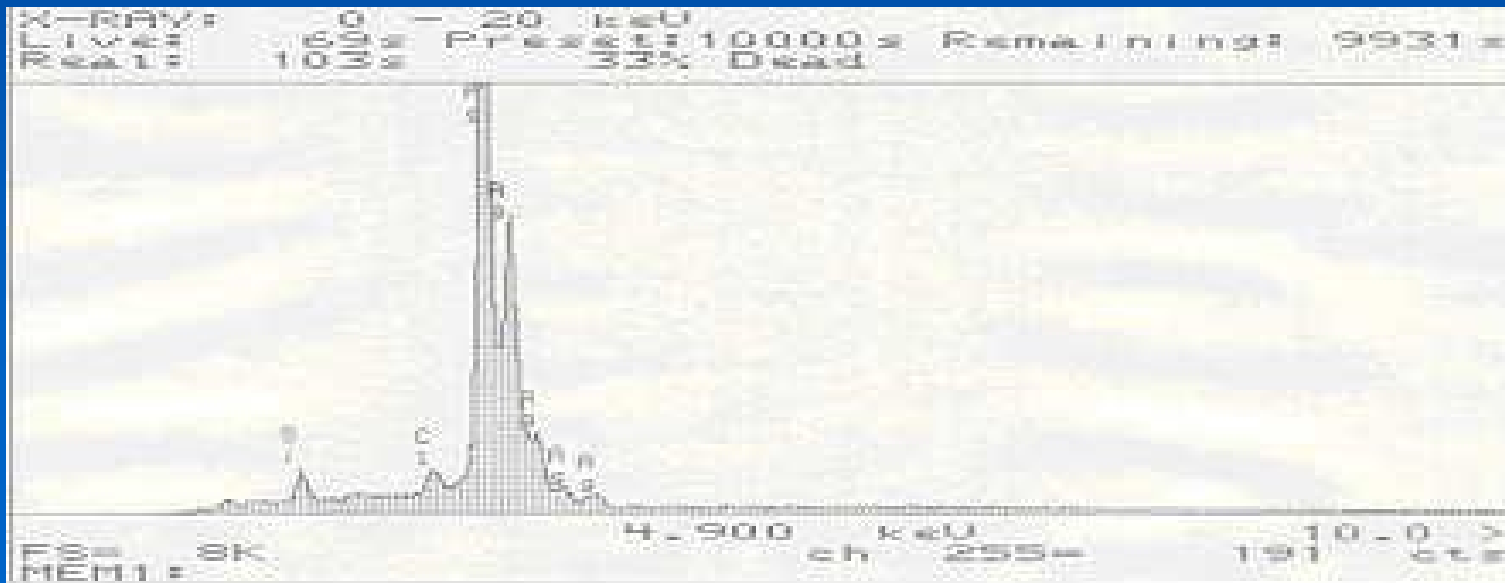
Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης



Γυάλινη ψηφίδα με φύλλα αργύρου



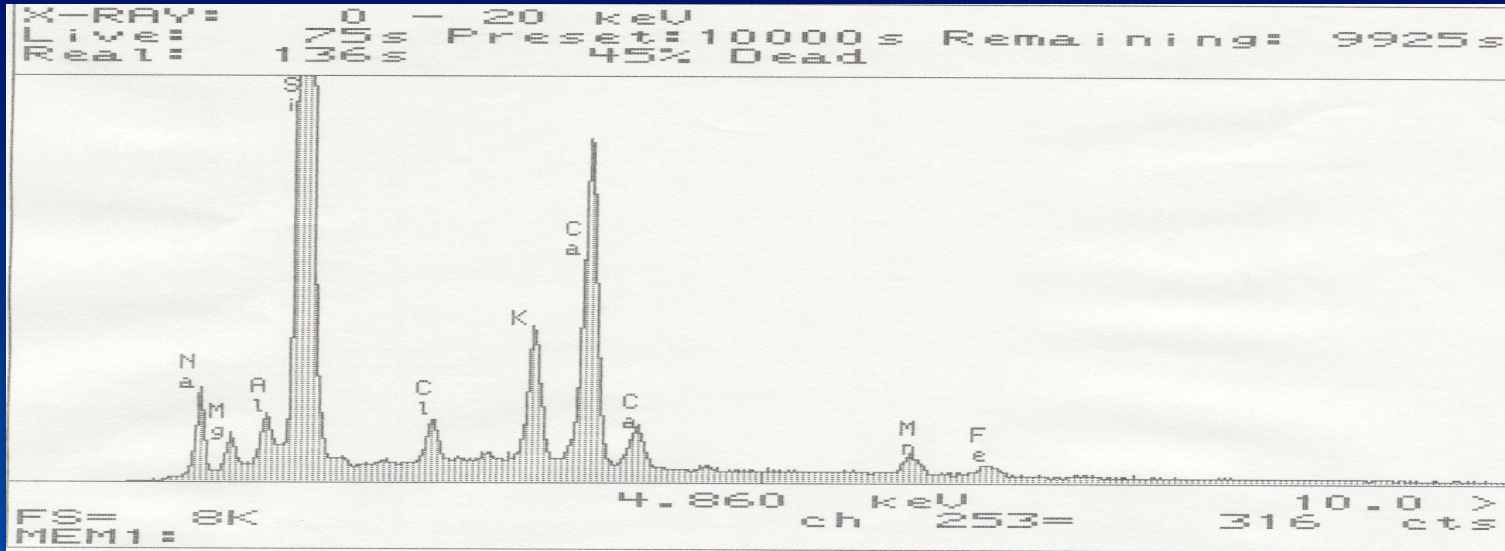
Χαρτογράφηση του αργύρου στη γυάλινη ψηφίδα



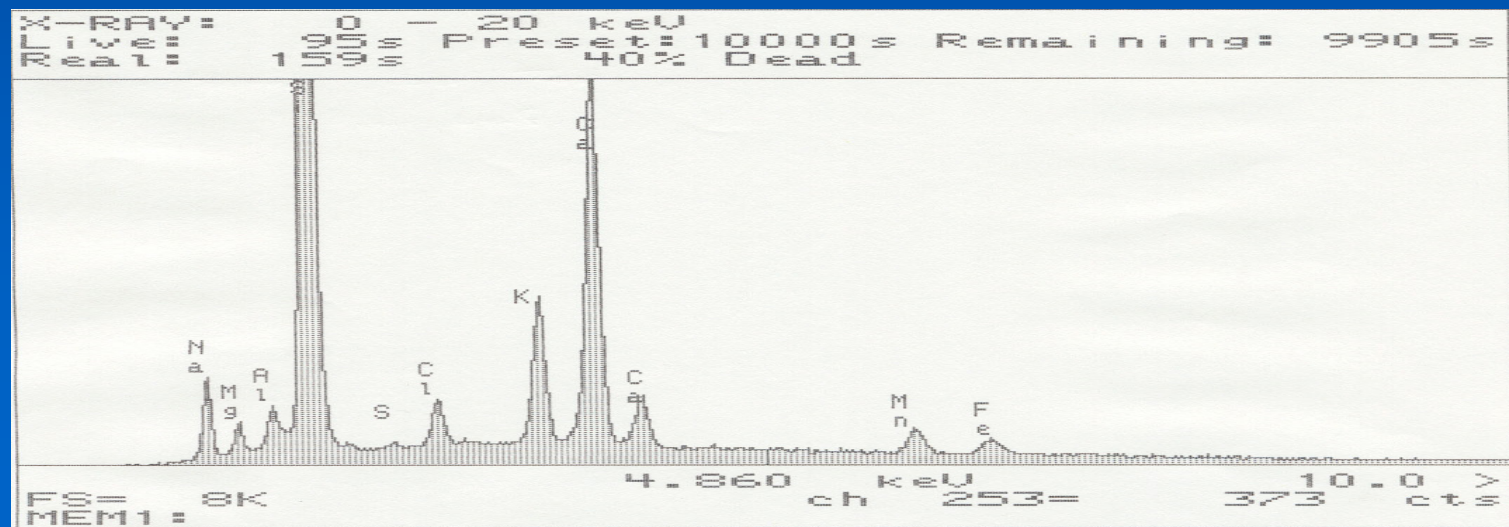
Γυάλινη ψηφίδα - Φύλλο αργύρου

Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης

Γυάλινη
ψηφίδα με
φύλλα
αργύρου-
Γυαλί βάσης



Γυάλινη
ψηφίδα με
φύλλα
αργύρου-
Λεπτό
στρώμα
γυαλιού



Συμπεράσματα

- Η τεχνολογία κατασκευής των γυάλινων ψηφίδων ακολουθεί τη Βυζαντινή τεχνολογία αυτών των υλικών. Αυτή η τεχνολογία διαδόθηκε στις περιοχές της Βυζαντινής επιρροής, καθώς οι τεχνίτες της Κωνσταντινούπολης ταξίδευαν σε περιοχές έξω από τα σύνορα της Βυζαντινής αυτοκρατορίας.
- Πρόκειται για γυαλί με ομοιογενή κατανομή των στοιχείων του στη γυάλινη μάζα, το οποίο παρουσιάζει αλκάλια, αλλά ταυτόχρονα ασβέστιο και μαγνήσιο, τα οποία το προστατεύουν από την υδρόλυση.
- Παράλληλα, η παρουσία Fe_2O_3 είναι η πιθανή αιτία της κεχριμπαρένιας απόχρωσης που παρατηρείται στο γυαλί βάσης της σύνθετης χρυσής ψηφίδας του 6ου αι., ενώ στην παρουσία $FeO + Fe_2O_3$ αποδίδεται η πρασινωπή απόχρωση των σύνθετων ασημένιων ψηφίδων τόσο του 6ου, όσο και του 10ου αιώνα.
- Αξίζει να σημειωθεί δε, ότι η αχνή κεχριμπαρένια και πράσινη απόχρωση των γυαλιών βάσης των εξεταζόμενων ψηφίδων οφείλεται στην πιθανότατα σκόπιμη προσθήκη οξειδίου του μαγγανίου, με στόχο τον αποχρωματισμό του γυαλιού.
- Επιπλέον, σε ότι αφορά τα ψηφιδωτά του 6ου αιώνα επιβεβαιώνεται η χρήση φυσικού χρυσού και αργύρου μεγάλης καθαρότητας για την παραγωγή των φύλλων των σύνθετων χρυσών και ασημένιων ψηφίδων, αντίστοιχα.

Μεταλλικές ψηφίδες 10^{ου} αι.

Ψηφίδες 10ου αι.

Το στρώμα ψηφοθέτησης με τις δύο γυάλινες ψηφίδες. Αριστερά η ψηφίδα με το ασημένιο φύλλο



Ημιποσοτική στοιχειακή ανάλυση γυάλινης ψηφίδας

Στοιχείο	Στοιχειακή κ.β. σύσταση %	StDv %	Σύσταση κ.β. σε οξειδία %
O K	48,47	0,23	
Si K	30,55	0,15	65,35
Ca K	6,26	0,05	8,76
Na K	5,87	0,06	7,91
S K	2,46	0,25	
K K	1,79	0,03	2,27
Mg K	1,44	0,04	2,39
Cl K	1,33	0,03	
Al K	1,13	0,03	2,13
Mn K	0,35	0,04	0,45
Fe K	0,35	0,04	0,50

Ημιποσοτικός προσδιορισμός της χημικής σύστασης του ασημένιου φύλλου με ανάλυση EDX

Στοιχείο	Ασημένιο φύλλο Στοιχειακή κ.β. σύσταση %
O K	36,79
Al K	20,73
Cu K	19,95
Zn K	10,75
Si K	4,23
Fe K	3,45
Cr K	1,13
Cl K	1,11
S K	0,96
Ca K	0,91
Σύνολο	100

Βιβλ. Αναφορές [14], [15], [16]

Συμπεράσματα

Η εξέταση του «ασημένιου φύλλου» της σύνθετης ψηφίδας του 10ου αι. αποκάλυψε, ότι στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα κράμα χαλκού - ψευδαργύρου σε αναλογία 2:1, το οποίο όμως προσομοιάζει την εμφάνιση του ασημιού, ενώ παράλληλα παρουσιάζει πολύ καλή ηλεκτροχημική σταθερότητα.

Η παρουσία του είναι ενδεικτική των οικονομικών δυνατοτήτων της εποχής του 10ου αι., οι οποίες ήταν σαφώς πιο περιορισμένες από αυτές του 6ου και ικανοποιεί την ανάγκη για μία γρήγορη και οικονομική αποκατάσταση, επιβεβαιώνοντας έτσι και τα ιστορικά δεδομένα που αναφέρουν ότι τα ψηφιδωτά του 6ου αιώνα διαθέτουν καλύτερη ποιότητα κατασκευής από αυτά του 10ου αιώνα.

Εξέταση της κατάστασης διατήρησης των
ψηφιδωτών της Αγίας Σοφίας και της
συμβατότητας παλαιότερων επεμβάσεων
συντήρησης με επί τόπου χρήση μη
καταστρεπτικών τεχνικών

Μη καταστρεπτικές τεχνικές

Γιατί είναι επιθυμητή η χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών στα ψηφιδωτά?

Είναι μη καταστρεπτικές για το ψηφιδωτό

Είναι γρήγορες στην εφαρμογή τους

Εύκολα εφαρμόσιμες επί τόπου στο μνημείο

Επαληθεύουν τις αναλυτικές μεθόδους

Έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στο παρελθόν

Μη καταστρεπτικές τεχνικές

Χρήσεις των μη καταστρεπτικών τεχνικών

- Διάγνωση φθοράς
- Αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης

Μη καταστρεπτικές τεχνικές για εφαρμογές στα ψηφιδωτά:

- Υπερηχοσκόπηση (Ultrasonics)
- Θερμογραφία υπερύθρου (IR Thermography)
- Μικροσκοπία οπτικών ινών (Fiber Optics Microscopy)
- Γεωραντάρ (Ground Penetration Radar)

Υπερηχοσκόπηση

❖ Βασικές αρχές

- Καταγράφει την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν οι υπέρηχοι σε ένα μέσο και συσχέτιση της με την πυκνότητα του υλικού και την παρουσία διεπιφανειών, κενών και ρωγμών

❖ Χρήσεις

- Αποτίμηση του βάθους της φθοράς
- Αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της διείδυσης επεμβάσεων αποκατάστασης

Βάθος φθοράς

$$\alpha = \frac{l_o}{2} \left(\frac{V_S - V_D}{V_S + V_D} \right)^{1/2}$$

όπου V_S , V_D είναι οι ταχύτητες των υπέρηχων στο υγιές και στο φθαρμένο τμήμα του υλικού αντίστοιχα, και l_o είναι η απόσταση μεταξύ των μορφοτροπέων όπου παρατηρείται αλλαγή στην κλίση του διαγράμματος απόστασης - χρόνου



Το ΕΜΤΠ - ΧΜ, Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών χρησιμοποιεί το σύστημα Portable Ultrasonic Non-Destructive Indicating Tester (PUNDIT) με μορφοτροπίες συχνότητας 54 kHz

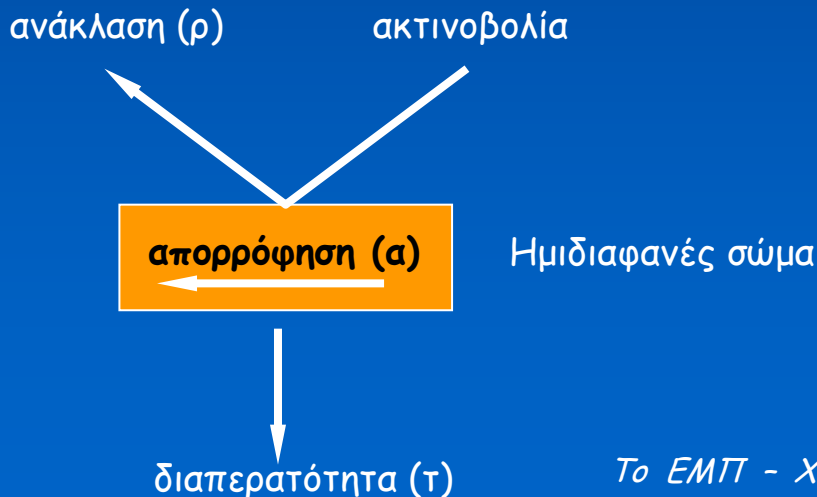
Θερμογραφία υπερύθρου

❖ Βασικές αρχές

- Καταγράφει την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα
 - ✓ παθητική προσέγγιση: χωρίς εξωτερική πηγή θερμότητας
 - ✓ ενεργητική προσέγγιση: μετά από φωτισμό από εξωτερική πηγή θερμότητας
- Απεικόνιση εικόνας της επιφάνειας με χρώματα συσχετισμένα με θερμοκρασιακή κλίμακα

❖ Χρήσεις

- Αποτίμηση της υγρασίας σε κτίρια και μνημεία
- Διάγνωση επιφανειακών και υποεπιφανειακών ατελειών
- Έλεγχος οδοστρωμάτων



Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από μία πηγή συναντήσει ένα υλικό, μέρος αυτής το διαπερνά, ανακλάται ή απορροφάται από το υλικό. Τα μέρη αυτά ονομάζονται **διαπερατότητα (τ)**, **ανάκλαση (ρ)** και **απορρόφηση (α)** του υλικού και συνδέονται με τη σχέση:

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

Το ΕΜΤ - ΧΜ, Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών χρησιμοποιεί το σύστημα Avio TVS-2000 MkII LW, 8-12 μm) με MCT (Mercury Cadmium Telluride) detector, και ταχύτητα σάρωσης 15 frames/sec

Μικροσκοπία οπτικών ινών

❖ Βασικές αρχές

- Λαμβάνει εικόνες στο ορατό φάσμα
- Η εικόνα μεταδίδεται με οπτικές ίνες και μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία αποθηκεύονται σε video

❖ Χρήσεις

- Αναγνωρίζει διαφορές στην υφή και την σύνθεση επιφανειών
- Κατάταξη υλικών (π.χ. κονιάματα)
- Μελέτη φαινομένων φθοράς (κυψέλωση, κρούστες κ.α.)
- Αποτίμηση επεμβάσεων συντήρησης

Το ΕΜΤΠ - ΧΜ, Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών χρησιμοποιεί το σύστημα PICO SCOPEMAN MORITEX FOM με SONY video recorder

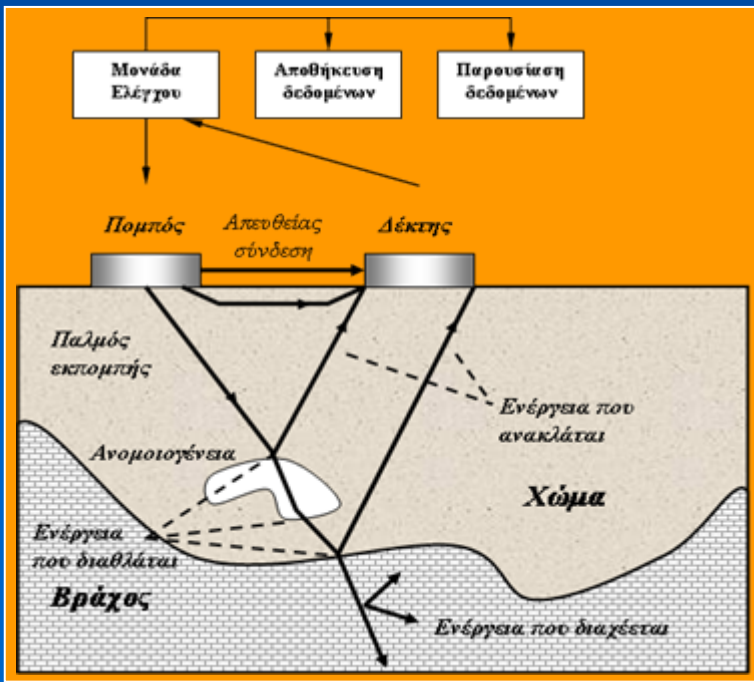
Γεωραντάρ

❖ Βασικές αρχές

- ❑ Παραγωγή σύντομου ηλεκτρομαγνητικού παλμού (10 - 10,000MHz) και διάδοση του στο υλικό
- ❑ Μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται (λόγω ύπαρξης εσωτερικών διεπιφανειών ή ασυνεχειών) πίσω στην επιφάνεια και καταγράφεται

❖ Χρήσεις

- ❑ Αναγνωρίζει κοιλότητες σε εδάφη ή δομικά υλικά
- ❑ Αναγνώριση περιοχών όπου έχει γίνει εσωτερική αποκόλληση στρωμάτων
- ❑ Αποτίμηση βάθους της φθοράς



Διάταξη γεωραντάρ:

- ❖ Ο παλμός εκπομπής διαχέεται στο υπέδαφος και όταν προσπίπτει σε κάποια ανομοιογένεια -διαφορετικές ηλεκτρικές ή μαγνητικές ιδιότητες σε σχέση με το μητρικό υλικό- μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται προς την επιφάνεια ενώ το υπόλοιπο διαχέεται προς βαθύτερα επίπεδα.
- ❖ Οι πολλαπλές ανακλάσεις αντιστοιχούν στις διάφορες διεπιφάνειες που συναντά ο παλμός μέχρι πλήρους εξασθένησής του.

Επιφάνειες Εφαρμογής

Μη καταστρεπτικές τεχνικές:

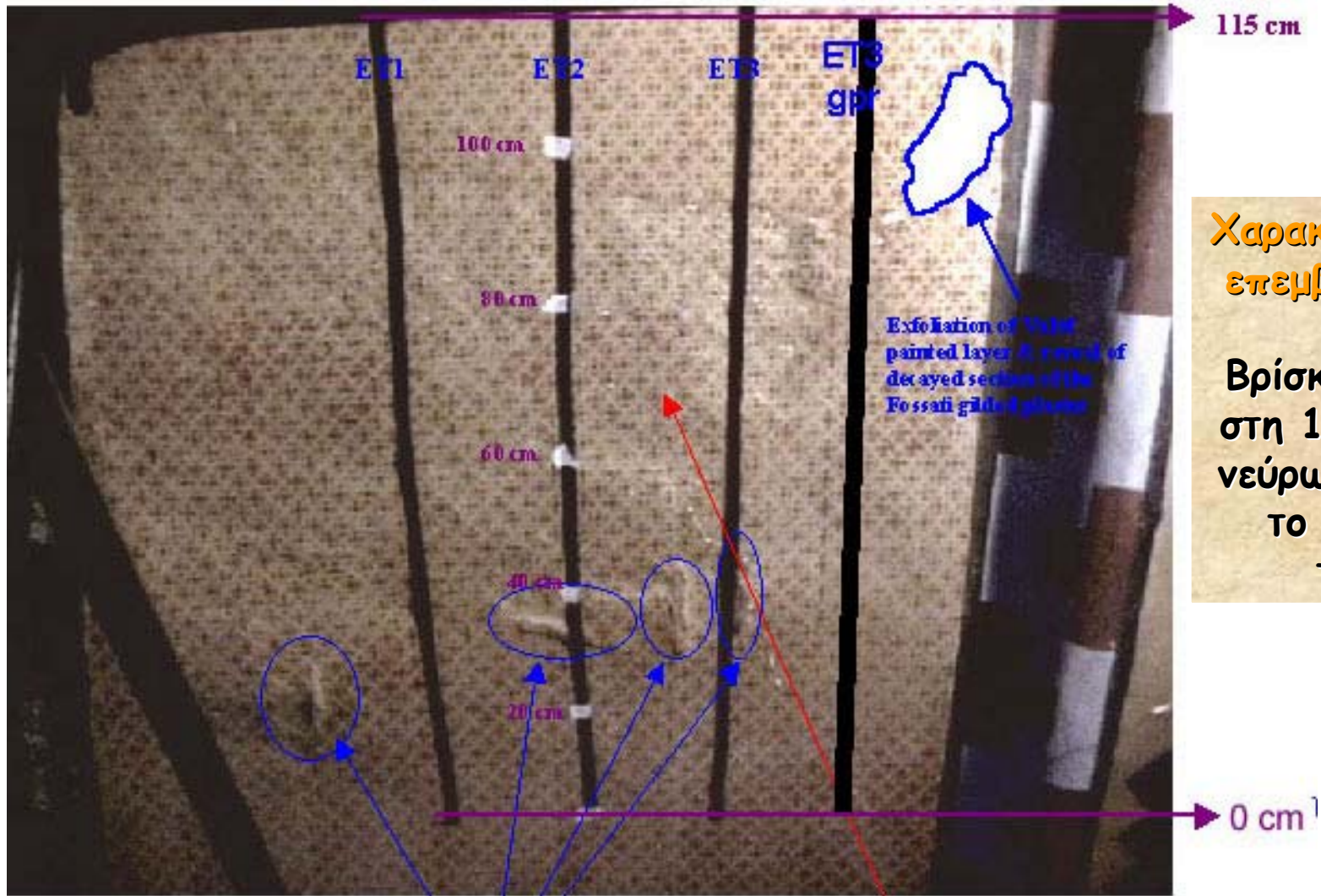
- Υπερηχοσκόπηση (Ultrasonics)
- Θερμογραφία υπερύθρου (IR Thermography)
- Μικροσκοπία οπτικών ινών (Fiber Optics Microscopy)
- Γεωραντάρ (Ground Penetration Radar), σε συνεργασία με το ΙΓΜΕ και τους ερευνητές Δρ. Α. Αγγελόπουλο, Δρ. Π. Κάρμη

Οι επιφάνειες εφαρμογής των μη καταστρεπτικών τεχνικών στον τρούλο του ναού βρίσκονται όλες στο βορειοδυτικό τμήμα του (μεταξύ της 19ης και 30ης νεύρωσης), όπου απατούνται ψηφιδωτά του 6ου και 10ου αιώνα καθώς και επιφάνειες των αποκαταστάσεων Fossati και Vakif.

Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]

Κωδικός Επιφάνειας	Θέση Επιφάνειας		Περιγραφή Επιφάνειας
	Αριθμός Πεύρωσης τρούλου	Απόσταση από το κέντρο του τρούλου	
Ετ	Ανάμεσα 19ης & 20ης	16 μέτρα	Επιφάνεια με επιζωγραφισμένο επίχρυσμα από την αποκατάσταση Vakif (μετά το 1910), τμήμα ψηφιδωτού επικαλυμμένο με χρώμα της αποκατάστασης Vakif
Ψτ	Ανάμεσα 27ης & 30ης	7 μέτρα (κορυφή τρούλου)	<ul style="list-style-type: none"> • Διεπιφάνεια ψηφιδωτών 10ου & 6ου αιώνα, • τμήμα επιχρυσωμένου επίχρυσματος από την αποκατάσταση Fossati (1847 – 49)
Ψκτ	Ανάμεσα 25ης & 26ης	21 μέτρα (βάση τρούλου)	<p>Επιφάνεια ψηφιδωτού του 10ου αιώνα</p> <p>ε χαλαρά συνδεδεμένο υπόστρωμα την τοιχοποιία</p> <p>εξτεταμένου βαθμού αποφλοίωση των επιφανειακών</p> <p>γυάλινων στοιβάδων των χρυσών</p> <p>ψηφίδων.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Σαθρό και εύθρυπτο επίχρυσμα από την αποκατάσταση Fossati (1847 – 49)

Επιφάνεια Ε_Τ



Χαρακτηριστική των επεμβάσεων Vakif

Βρίσκεται ανάμεσα στη 19th και 20th νεύρωση, 16m από το κέντρο του τρούλου.

Μεταλλικές Καρφίδες

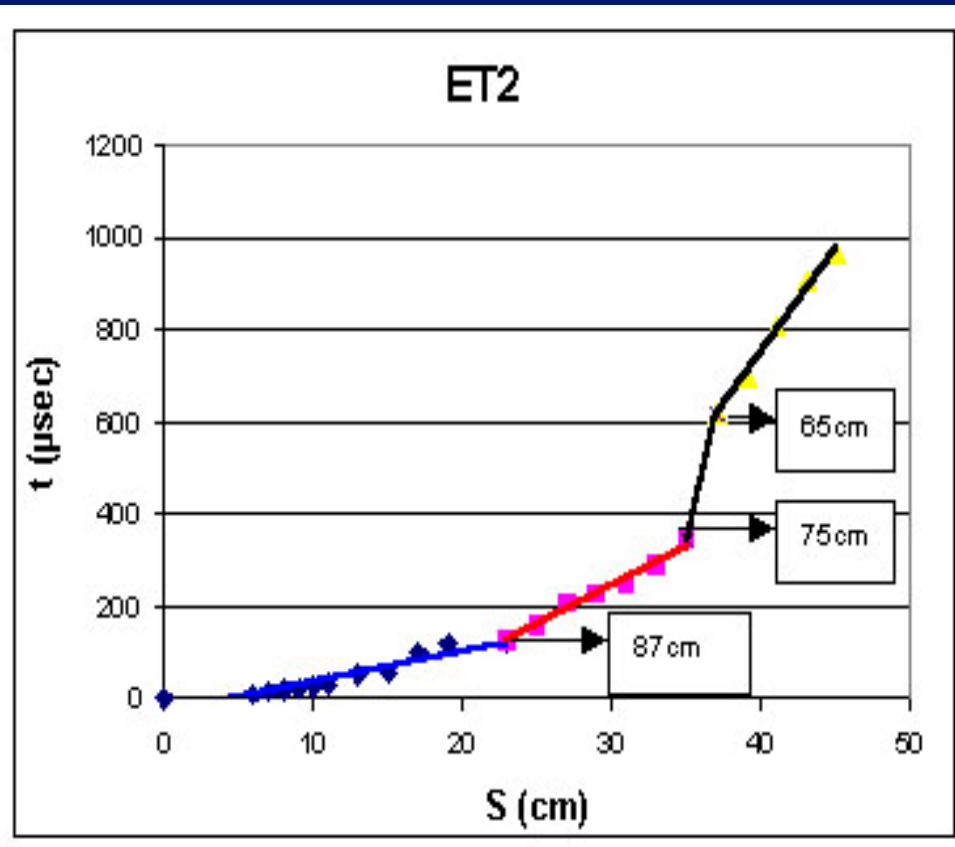
Περιοχή επικαλυμμένου ψηφιδωτού
raiated layer

Επιφάνεια E_T

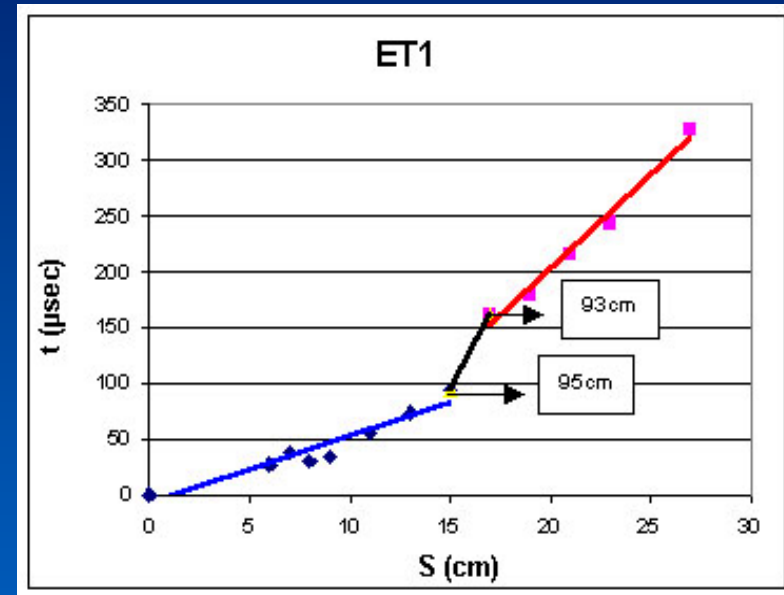
Στόχος του μη καταστρεπτικού ελέγχου

- Η έκταση του επικαλυμμένου ψηφιδωτού
- Η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού και της επέμβασης Vakif

Επιφάνεια E_T : Υπέρηχοι



Area 1 (blue line): 112 - 87 cm \Rightarrow Area of Vakif painted plaster
Area 2 (red line): 87 - 75 cm \Rightarrow coated mosaic with paint layer
Area 3 (black line): 73 - 65cm \Rightarrow area with detachment or absence of tesserae



Area 1 (blue line): 110 - 95 cm \Rightarrow Area of Vakif painted plaster
Area 2 (red line): 93 - 81 cm \Rightarrow Coated mosaic with paint layer

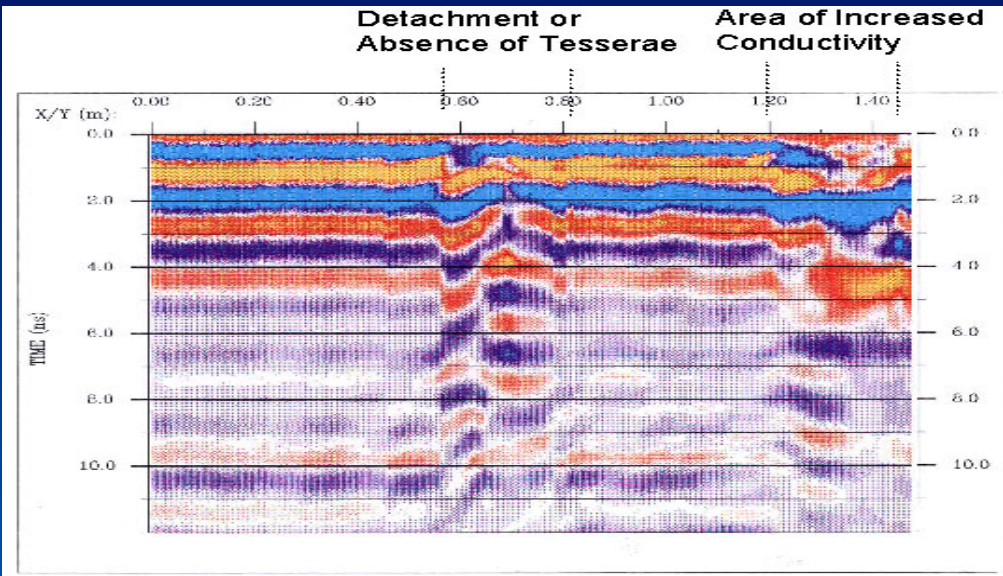
Στην περιοχή E_{T2} προσδιορίζονται τρεις διαφορετικές περιοχές:

- (Μπλέ) **Vakif** χρωματικό στρώμα (μέση ταχύτητα 1600 m/sec)
- (Κόκκινο) **Επικαλυμμένο ψηφιδωτό** (μέση ταχύτητα 590 m/sec)
- (Μαύρο) **Περιοχή με αποκόλληση ή απουσία ψηφιδών** (πολύ χαμηλή ταχύτητα)

Βιβλ.
Αναφορές
[24], [25],
[26]

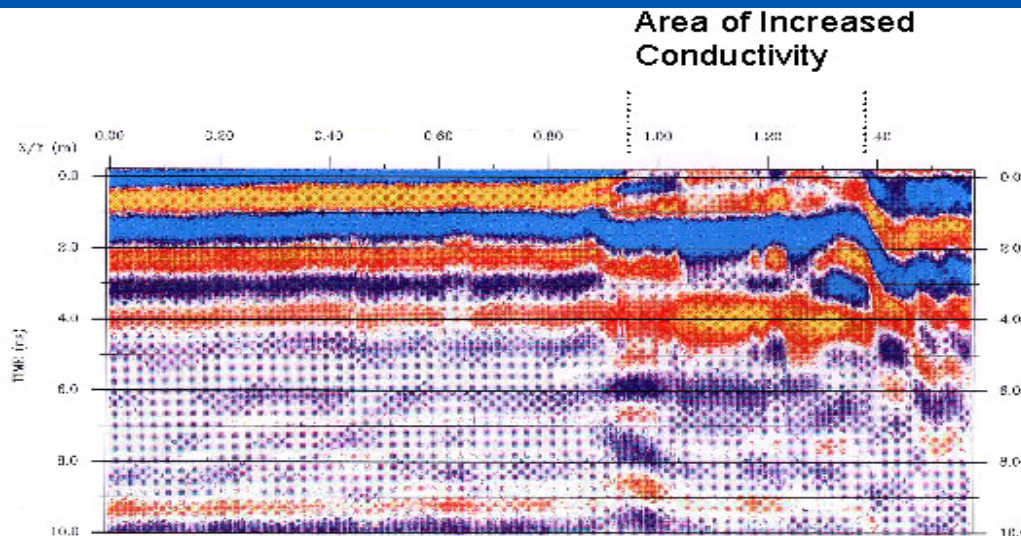
Επιφάνεια E_T : Γεωραντάρ

E_{T2}



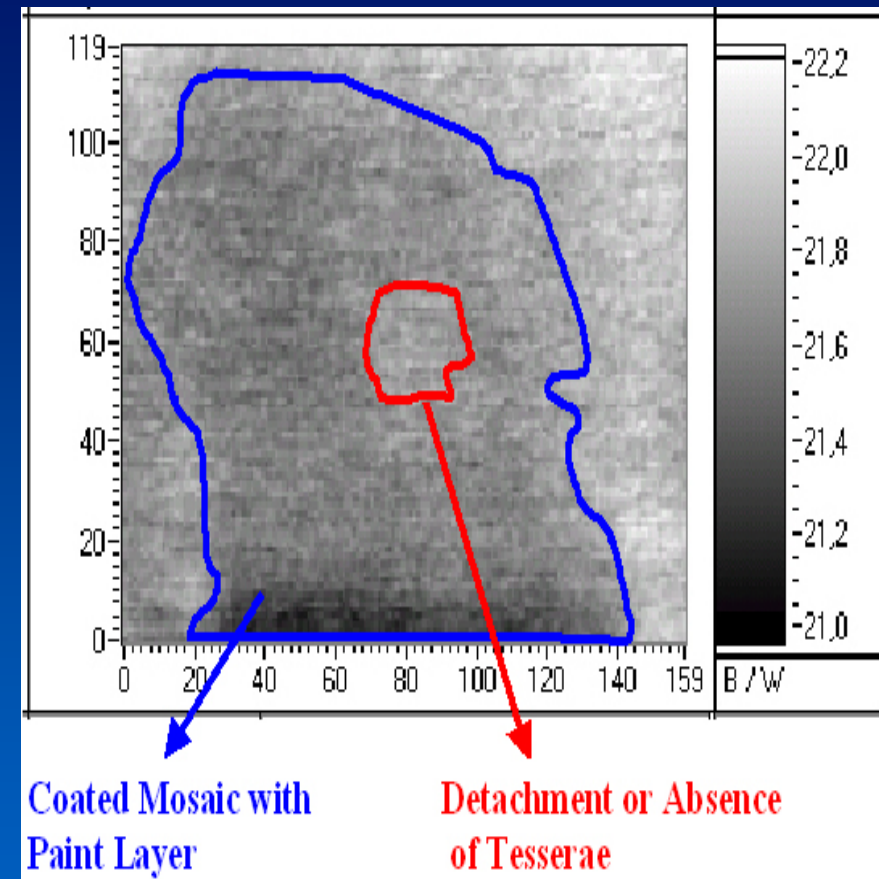
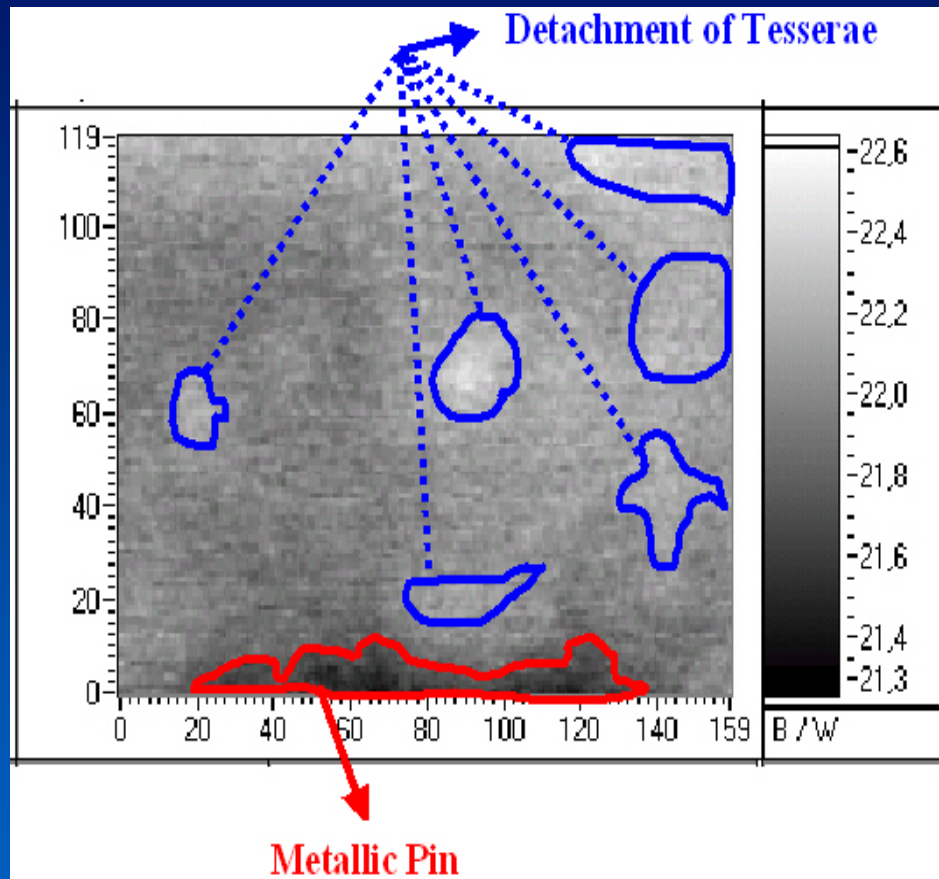
- Επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων των υπερήχων - εντοπισμός της περιοχής αποκόλλησης ψηφίδων
- Περιοχή υψηλής αγωγιμότητας λόγω της παρουσίας αλάτων και υγρασίας, αφού λαμβάνει χώρα απολέπιση της χρωματικής επίστρωσης Vakif και αποκάλυψη αποσαθρωμένου επιχρυσωμένου επιχρίσματος Fossati.
- Η χρωματική επίστρωση Vakif είναι πιο συμπαγής σε σχέση με το επιχρυσωμένο επίχρισμα Fossati που έχει ως βάση τον ασβέστη, οδηγώντας σε μείωση του ρυθμού εξάτμισης της υγρασίας στο σύνολο της τοιχοποιίας.

E_{T1}



Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]

Επιφάνεια Ε_Τ: Θερμογραφία υπεράυθρου



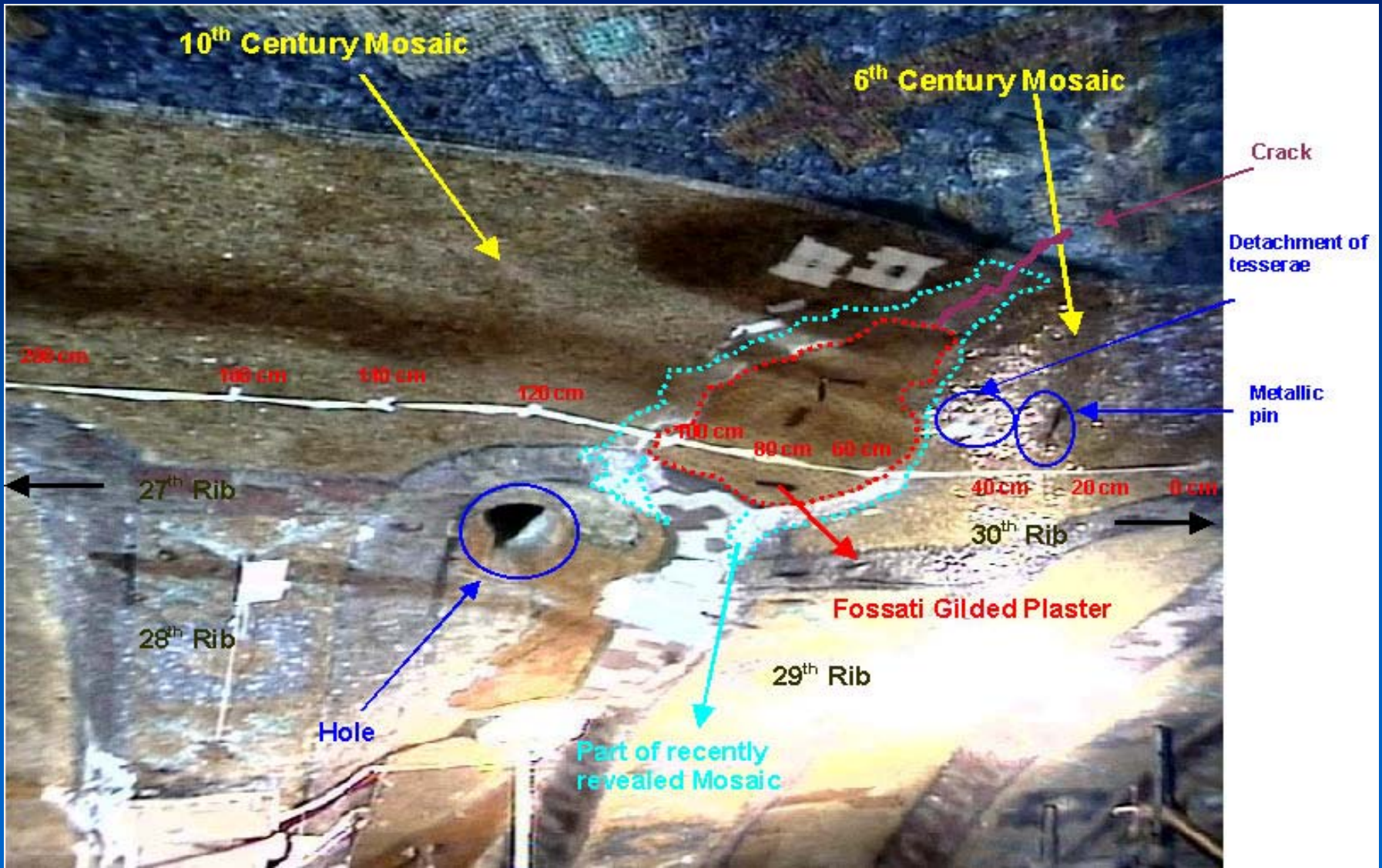
- Το επικαλυμμένο ψηφιδωτό αποδίδεται με σκουρότερες περιοχές (χαμηλότερη θερμοκρασία)
- Περιοχές με αποκόλληση ψηφιδωτού - πιο ανοιχτόχρωμες περιοχές (υψηλότερη θερμοκρασία λόγω του διαφορετικού ρυθμού θερμικής διάχυσης)

Συμπεράσματα επιφάνειας E_T

- ❖ Η διαφοροποίηση των τιμών των μετρήσεων οφείλεται στην ύπαρξη διαφορετικών υλικών
- ❖ Προσδιορισμός της ύπαρξης αλλά και της έκτασης του επικαλυμμένου ψηφιδωτού
- ❖ Εντοπισμός περιοχών αποκολλημένων ψηφίδων στο επικαλυμμένο ψηφιδωτό.
- ❖ Η μείωση της διαπερατότητας σε υδρατμούς (ρυθμός εξάτμισης της περιεχόμενης υγρασίας) της τοιχοποιίας, εξαιτίας της συμπαγούς χρωματικής επίστρωσης Vakif, ευνοεί φαινόμενα όπως η κρυστάλλωση αλάτων και η απόσπαση επιφανειακών στρωμάτων στο έντονα ρυπασμένο και υψηλής σχετικής υγρασίας περιβάλλον της Κωνσταντινούπολης.
- ❖ Συνεπώς, αυτή η επέμβαση συντήρησης μπορεί να χαρακτηριστεί μη συμβατή.

Επιφάνεια Ψ_Τ

Είναι σε απόσταση 7 μέτρων από το κέντρο του τρούλου. Αποτελείται από ψηφιδωτά του 6ου και 10ου αιώνα καθώς και επίχρισμα αποκατάστασης Fossati μεταξύ των διεπιφανειών.



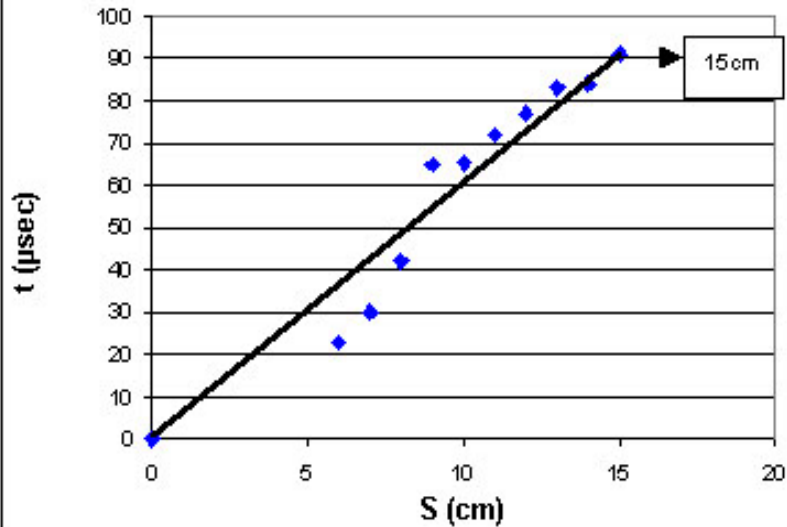
Επιφάνεια ΨΤ

Στόχος του μη καταστρεπτικού ελέγχου

- Ο προσδιορισμός (αν υπάρχουν) περιοχών του ψηφιδωτού προς αποκόλληση
- Ανάπτυξη της μακροσκοπικά παρατηρούμενης ρωγμής στο επιχρυσωμένο επίχρισμα Fossati
- Η αποτίμηση της επέμβασης συντήρησης Fossati

Επιφάνεια Ψ_T : Υπερηχοσκόπηση

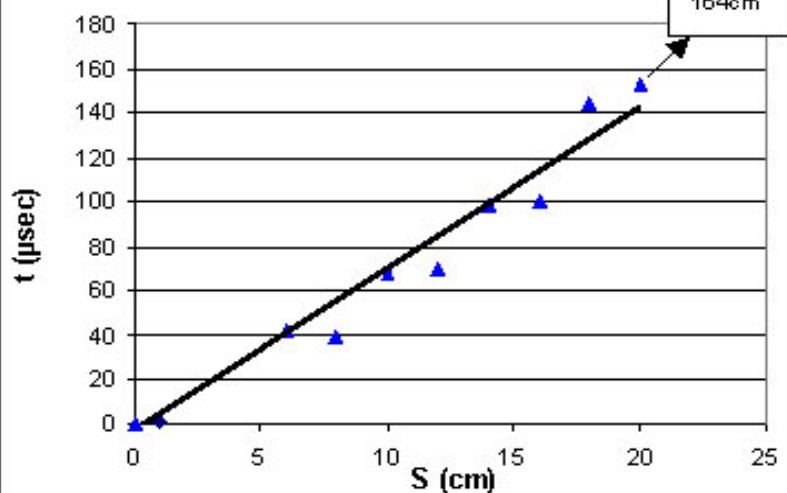
6th Century Mosaic



Ταχύτητα στο ψηφιδωτό του 6ου αιώνα 1650 m/sec

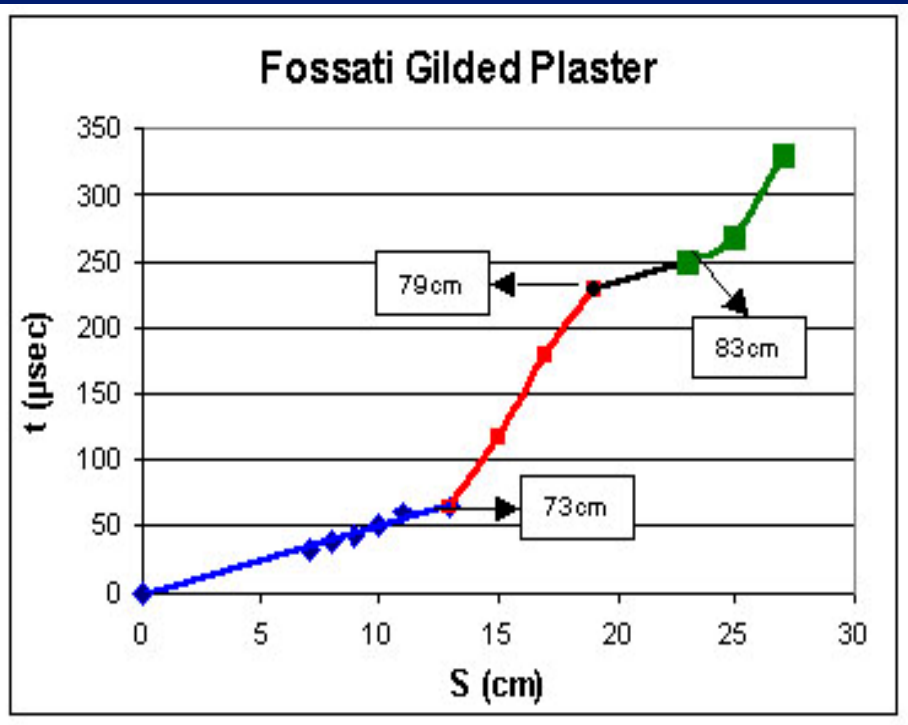
Ταχύτητα στο ψηφιδωτό του 10ου αιώνα 1380 m/sec

10th Century Mosaic



Επιβεβαίωση των ιστορικών δεδομένων ότι το ψηφιδωτό του 6ου αιώνα είναι πιο συμπαγές (καλύτερη ποιότητα κατασκευής) από του 10ου.

Επιφάνεια Ψ_T : Υπερηχοσκόπηση



Περιοχή 1 (μπλε γραμμή): 60 - 73 cm Υγιής περιοχή

Περιοχή 2 (κόκκινη γραμμή): 73 - 79 cm Ρωγμή

Περιοχή 3 (μαύρη γραμμή): 79 - 83 cm Υγιής περιοχή

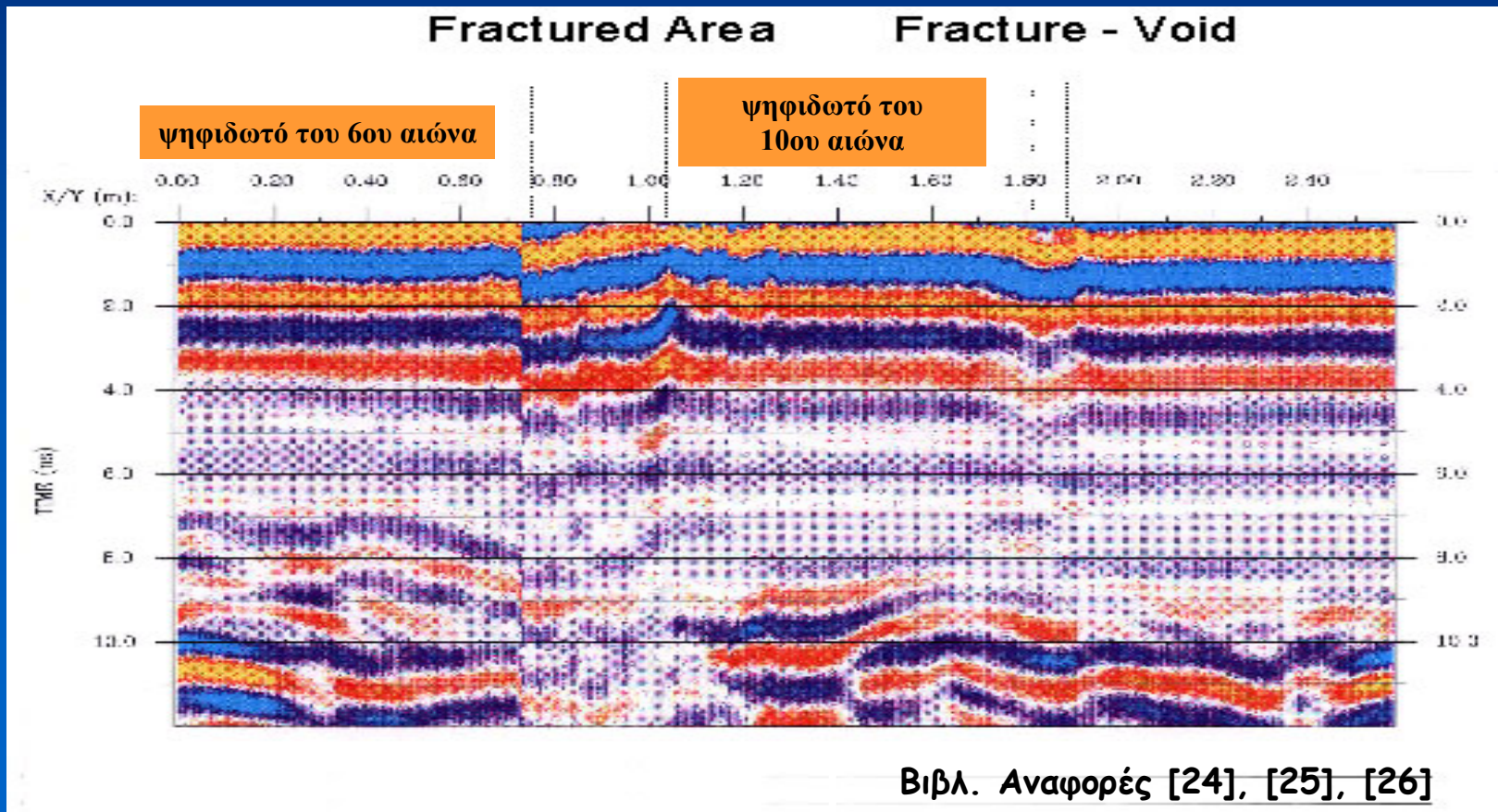
Περιοχή 4 (πράσινη γραμμή): 83 - 87 cm Ρωγμή

Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]

- Η δεύτερη και η τέταρτη περιοχή αντιστοιχούν σε πολύ χαμηλές ταχύτητες υπερήχων (358 m/sec και 500 m/sec αντίστοιχα), ενώ η πρώτη και η τρίτη περιοχή παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη τιμή υπερήχων (περίπου 2000 m/sec)
- Ανίχνευση ασυνεχειών στο επίχρισμα του Fossati
- Πιθανά πρόκειται για ρωγμή πολλαπλής κατανομής.

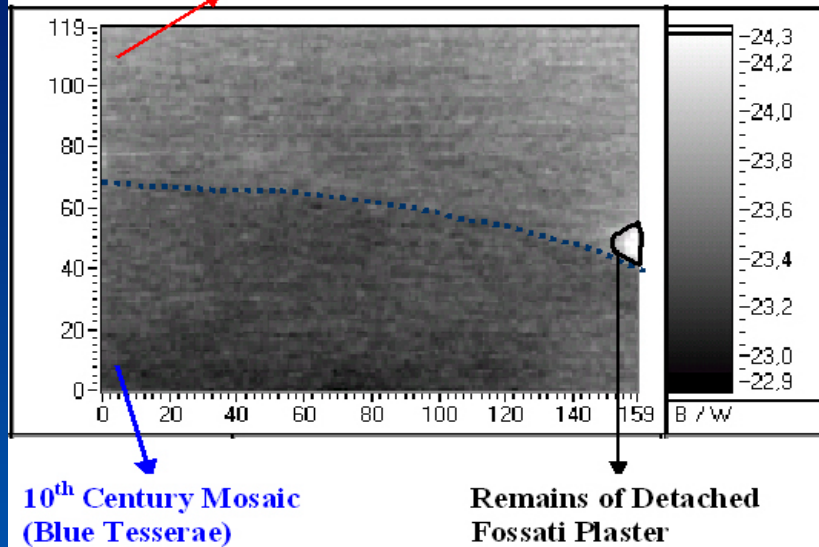
Επιφάνεια Ψ_T : Γεωραντάρ

Από τα αποτελέσματα διακρίνεται μία ρηγματωμένη επιφάνεια στην περιοχή του επιχρυσωμένου επιχρίσματος Fossati. Συνεπώς, η ρωγμή που διακρίνεται στη φωτογραφία της επιφάνειας Ψ_T πρέπει να έχει εξελιχθεί σε πολλαπλά ρηγματωμένη περιοχή. Παρατηρείται επίσης μία ασυνέχεια (ρωγμή - κενό) στο ψηφιδωτό του 10ου αιώνα, η οποία δε διακρίνεται μακροσκοπικά.



Επιφάνεια Ψ_T : Θερμογραφία υπερύθρου

10th Century Mosaic (Gold Tesserae)



Ψηφιδωτό 10ου αιώνα

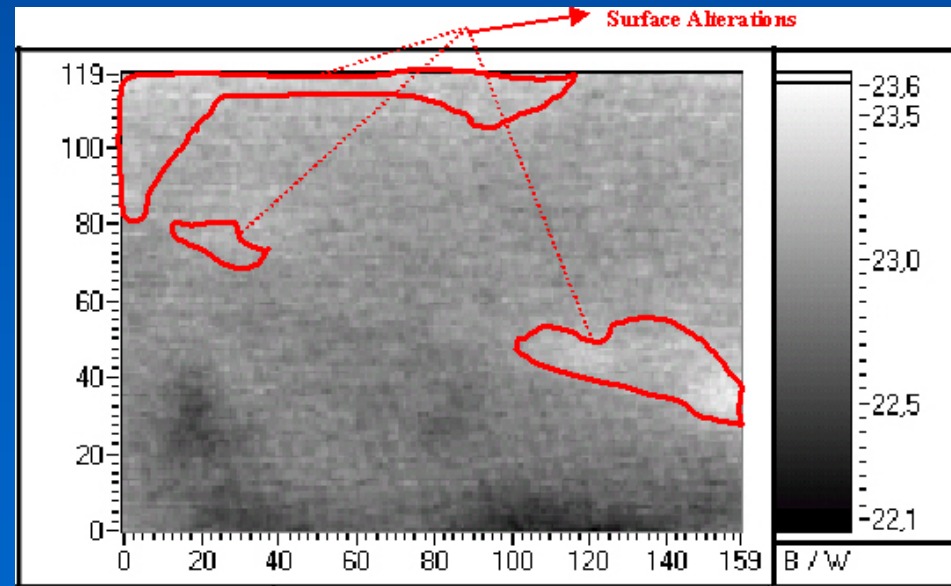
Οι χρωματιστές ψηφίδες παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας, πιθανώς λόγω **παρουσίας υγρασίας**.

Παρατηρούνται επίσης **υπολείμματα αποσπασμένου επιχρίσματος Fossati**.

Επιχρυσωμένο επίχρισμα Fossati

Απεικονίζονται οι επιφανειακές διαφοροποιήσεις όπως ρηγματώσεις & απολεπίσεις στις ελαφρώς γκριζες περιοχές

Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]



Επιφάνεια Ψ_T : Μικροσκοπία οπτικών ινών



1, 2: Ψηφιδωτό 6ου αιώνα (x50, x25). Οι χρυσές ψηφίδες του 6ου αιώνα παρουσιάζουν εκτεταμένες ρωγμές στην επιφάνειά τους (1), οδηγώντας σε απολέπιση και μερική απομάκρυνση του φύλλου χρυσού (2).



3, 4: Ψηφιδωτό 10ου αιώνα (x25, x25). Οι χρυσές ψηφίδες του 10ου αιώνα παρουσιάζουν ομοίως μερική απομάκρυνση του φύλλου χρυσού, αφού το γυάλινο στρώμα κάλυψης έχει απομακρυνθεί, ενώ το γυαλί βάσης έχει διαβρωθεί (3). Η μπλε γυάλινη ψηφίδα εμφανίζει φαινόμενα βελονοειδούς διάβρωσης (4).



5, 6: Επιχρυσωμένο επίχρισμα Fossati (x50, x25). Μικρορωγμές παρατηρούνται στο φύλλο χρυσού και στο κόκκινο αποτύπωμα απομίμησης ψηφίδων, & οξείδωση του βερνικιού λάκας (5). Η επιχρυσωμένη επίστρωση του επίχρισματος που έχει απομακρυνθεί αποκαλύπτει ρηγματωμένο υπόστρωμα ασβέστη (6).

Επιφάνεια Ψ_T : Μικροσκοπία οπτικών ινών



7, 8: Υπολείμματα αποσπασμένου επιχρίσματος Fossati ($\times 25$, $\times 25$) ανάμεσα στις ψηφίδες με φύλλο χρυσού, επιχρυσωμένο επίχρισμα για την κάλυψη των κενών από αποκολλημένες ψηφίδες και χρήση άχυρου για την ενίσχυση του επιχρίσματος (7).

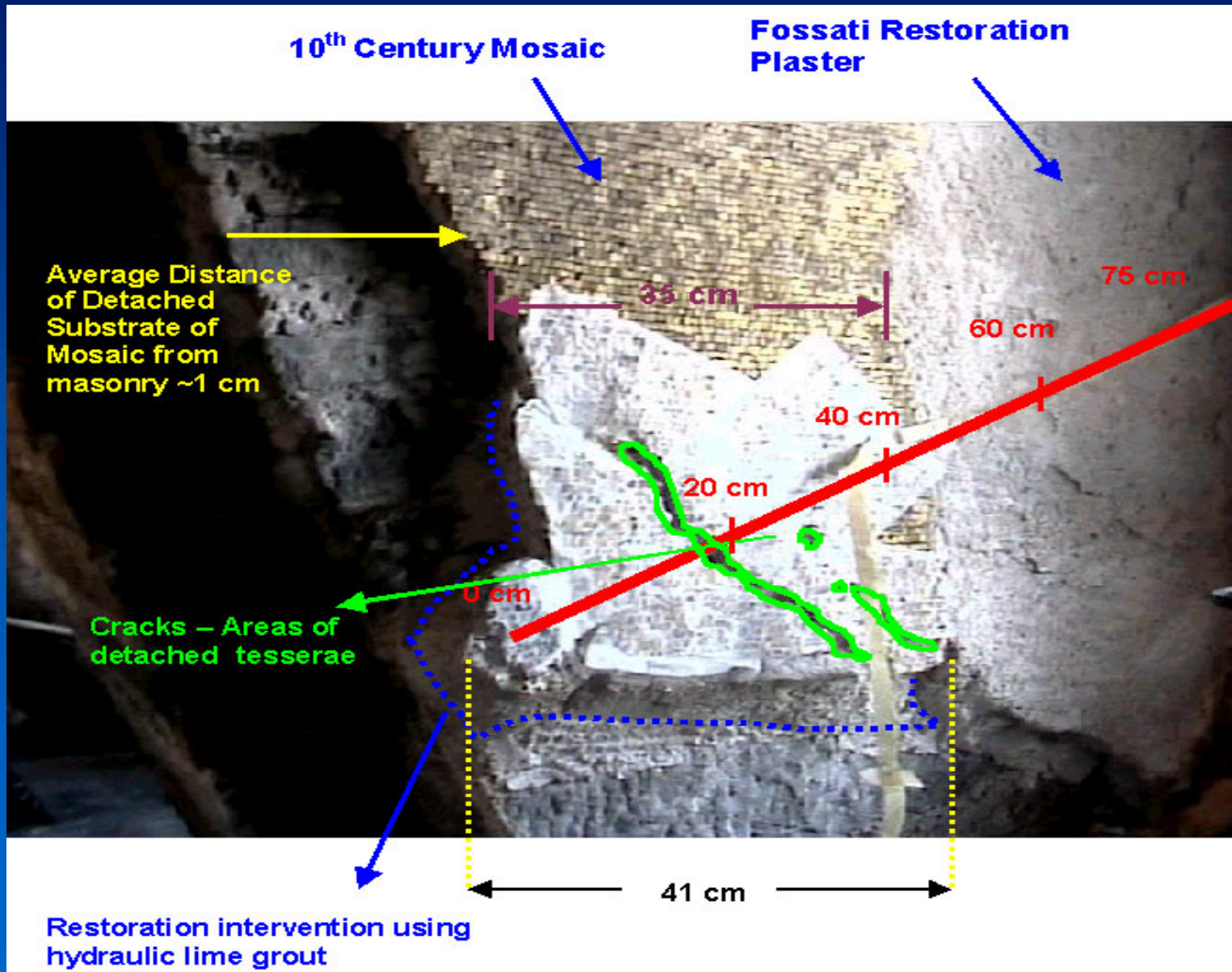
Οι αποκαλυμμένες ψηφίδες με φύλλα χρυσού παρουσιάζουν επιφανειακές ρηγματώσεις και αδιαφάνεια, ενώ τμήματα των χρυσών φύλλων έχουν αποσπαστεί (8).

Συμπεράσματα επιφάνειας ΨΤ

- ❖ Προσδιορίστηκε η διαφορετική ποιότητα κατασκευής των ψηφιδωτών του 6^{ου} και του 10^{ου} αιώνα.
- ❖ Προσδιορίστηκε μια ασυνέχεια, μη ορατή μακροσκοπικά στο ψηφιδωτό του 10^{ου} αιώνα.
- ❖ Προσδιορίστηκε η ανάπτυξη της μακροσκοπικά εντοπιζόμενης ρωγμής σε πολλαπλές ρηγματώσεις.
- ❖ Προσδιορίστηκε η χρήση άχυρου στο επίχρισμα Fossati, γεγονός που το καθιστά **συμβατό** σε σχέση με την τεχνολογία παρασκευής των κονιαμάτων υποστρώματος των ψηφιδωτών του 10^{ου} αιώνα (τα οποία επίσης περιλαμβάνουν άχυρο για την ενίσχυσή τους).
- ❖ Μετά την απομάκρυνση του επιχρίσματος Fossati, αποκαλύφθηκε ψηφιδωτό με έντονες επιφανειακές φθορές, γεγονός που καθιστά την επέμβαση **μη συμβατή**.

Επιφάνεια Ψ_{KT}

Βρίσκεται στην 25-26 νεύρωση σε απόσταση 21 μέτρων από το κέντρο του τρούλου.
Αποτελεί χαρακτηριστική επιφάνεια έτοιμου προς αποκόλληση ψηφιδωτού



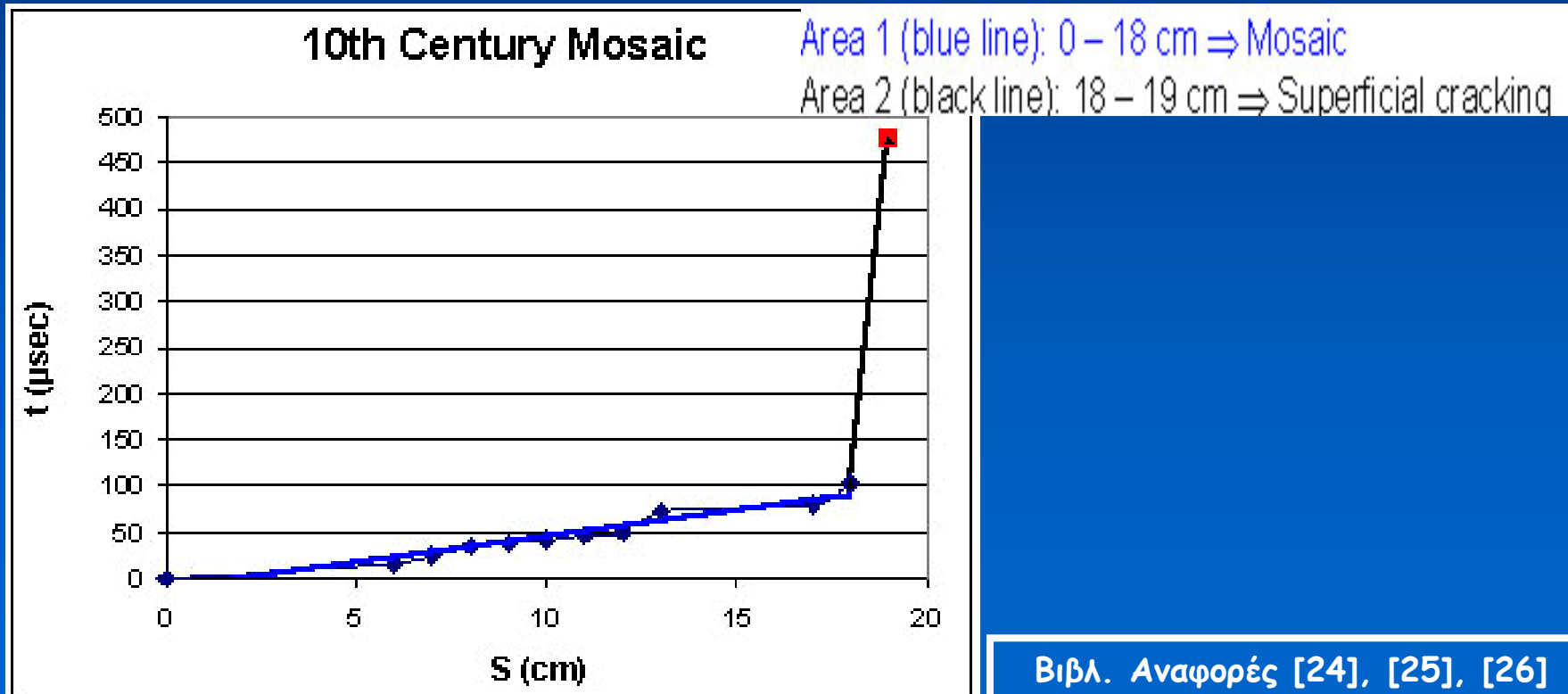
Επιφάνεια Ψ_{KT}

Στόχος του μη καταστρεπτικού ελέγχου

- Ο έλεγχος της κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού του 10^{ου} αιώνα
- Ο έλεγχος της κατάστασης διατήρησης του επιχρίσματος Fossati

Επιφάνεια Ψ_{KT} : Υπερηχοσκόπηση

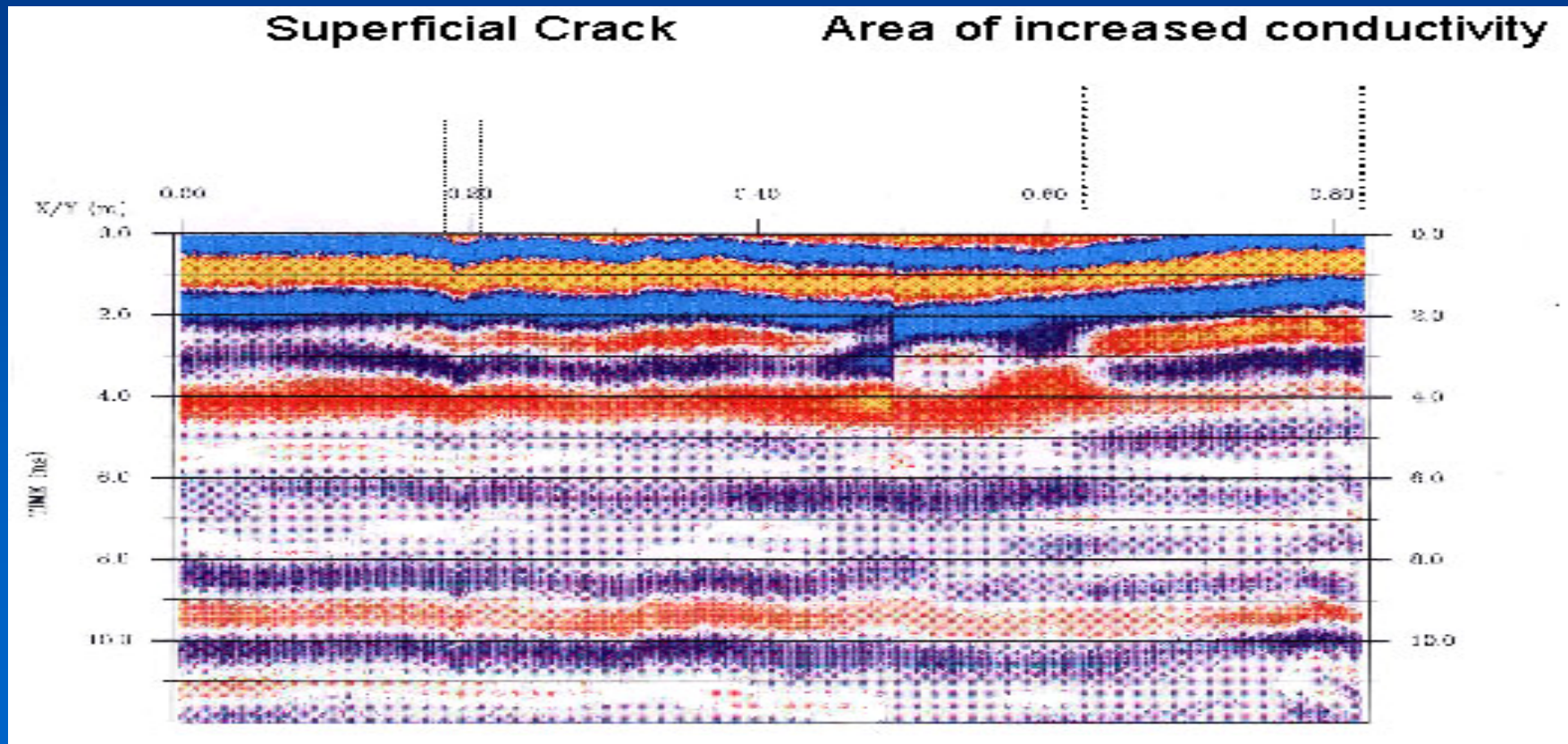
Παρατηρείται **επιφανειακή ρωγμή** ως αποτέλεσμα της **απόσπασης των ψηφίδων**, η οποία μπορεί να παρατηρηθεί και μακροσκοπικά. Η ταχύτητα υπερήχων στην περιοχή του ψηφιδωτού (**1763 m/sec**) αντιπροσωπεύει μία υγιή περιοχή, που αποδίδεται στην πρόσφατα εφαρμοζόμενη επέμβαση με ενέματα υδραυλικού ασβέστη από τη Διεθνή Ομάδα Συντήρησης της UNESCO.



Επιφάνεια Ψ_{KT} : Γεωραντάρ

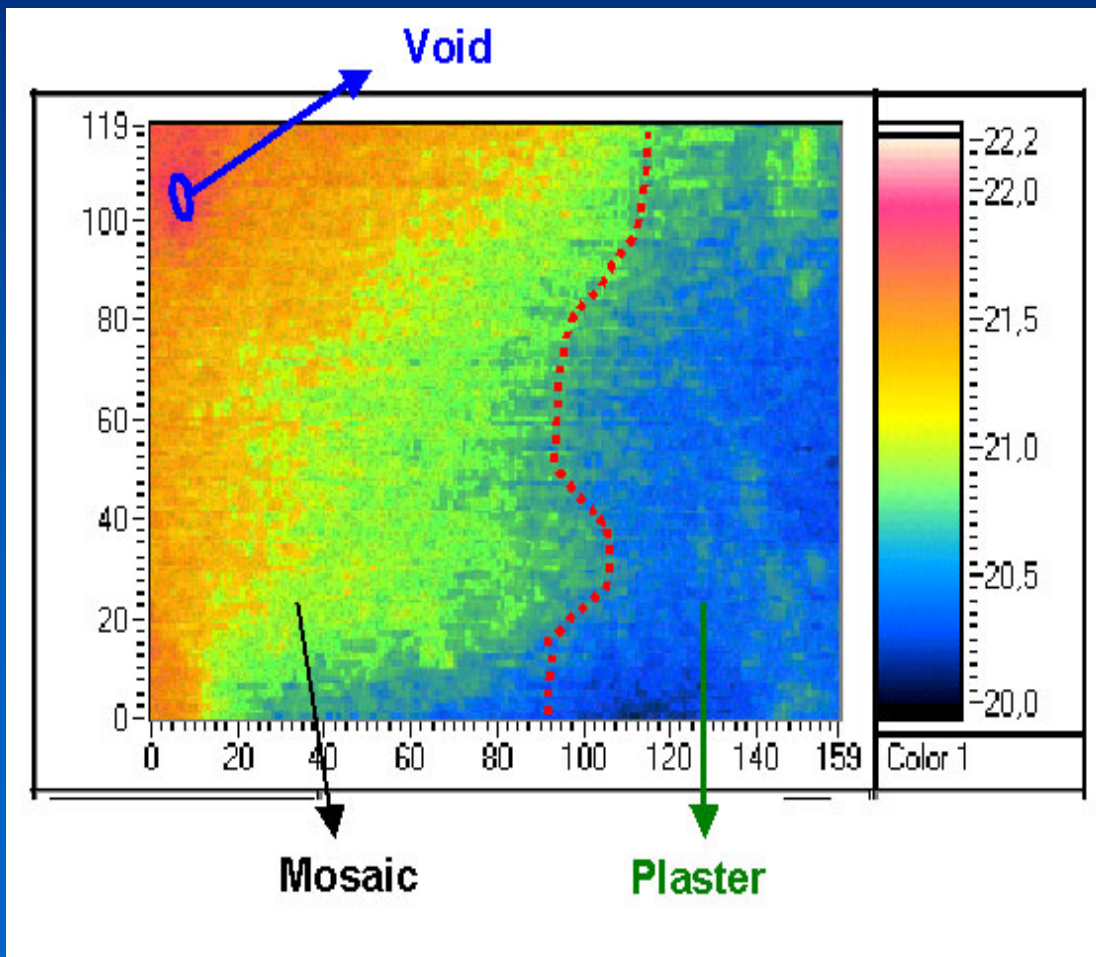
Επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα της υπερηχοσκόπησης αναφορικά με την παρατηρούμενη επιφανειακή ρωγμή. Επιπροσθέτως, εντοπίζεται μία περιοχή αυξημένης αγωγιμότητας στο επίχρισμα αποκατάστασης Fossati, που μπορεί να αποδοθεί στο υψηλό περιεχόμενο **υγρασίας και στην παρουσία αλάτων**.

Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]



Επιφάνεια Ψ_{KT} : Υπέρυθρη Θερμογραφία

Το θερμογράφημα απεικονίζει τη διεπιφάνεια μεταξύ του ψηφιδωτού του 10ου αιώνα και του επιχρίσματος αποκατάστασης Fossati. Η ψυχρή ζώνη (μπλε χρώμα) που ανιχνεύεται προκαλείται από την ανερχόμενη υγρασία και αντιστοιχεί στην επιχρισμένη επιφάνεια αποκατάστασης Fossati.



Η περιοχή με πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει το μέρος του ψηφιδωτού που επηρεάζεται άμεσα από τη μεταφορά του νερού και των διαλυτών αλάτων που προέρχονται από την επιχρισμένη επιφάνεια. Για το λόγο αυτό έχει μειωμένες τιμές θερμοκρασίας, συγκρίνοντας με το υπόλοιπο τμήμα του ψηφιδωτού.

Ένα κενό, το οποίο δεν διακρίνεται μακροσκοπικά, παρατηρείται στην πάνω αριστερή γωνία του θερμογραφήματος.

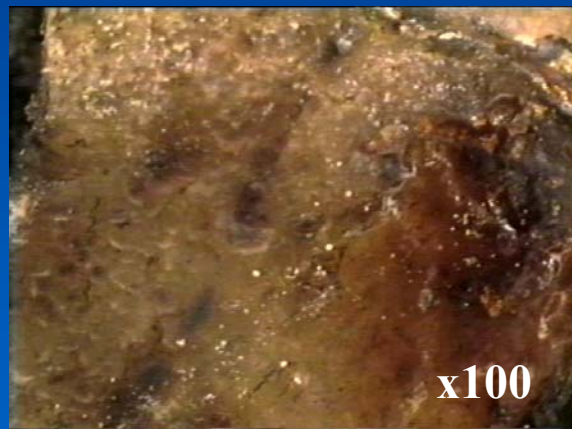
Επιφάνεια Ψ_{KT} : Μικροσκοπία οπτικών ινών



Γκρίζες κρούστες βιολογικής προέλευσης και κρυστάλλωση αλάτων στην επιφάνεια των ψηφίδων (1).

Οι αντιπροσωπευτικές μαύρες περιοχές οφείλονται σε μερική απόσπαση του φύλλου χρυσού και σε διάβρωση του γυαλιού βάσης (1, 2).

Τα άλατα και το αποσαθρωμένο κονίαμα υποστρώματος είναι φανερά (2).



Κατά τις επεμβάσεις συντήρησης Fossati τα κενά των χαμένων ψηφίδων συμπληρώθηκαν με το επιχρυσωμένο επίχρισμα που κάλυψε όμως και υγιείς περιοχές του ψηφιδωτού. Η οξείδωση του βερνικιού προκάλεσε παρατεταμένη φθορά στην επιφάνεια των ψηφίδων (3, 4).

Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]

Επιφάνεια Ψ_{KT} : Μικροσκοπία οπτικών ινών



Το περιεχόμενο υγρασίας και η κρυστάλλωση των αλάτων στο επίχρισμα Fossati (5) οδηγεί σε χαλάρωση του συνδετικού υλικού, μετατρέποντας το υλικό σε εύθρυπτη επιφάνεια. Κομμάτια επιχρίσματος έχουν αποσπασθεί (6), οδηγώντας σε σχηματισμό ρηγματώσεων και κοιλοτήτων.

7,8: Απώλεια ψηφίδας στο κονίαμα υποστρώματος. Είναι ακόμα ορατή η προετοιμασία που λάμβανε χώρα στο υπόστρωμα για την τοποθέτηση των ψηφίδων (7). Παρατηρείται η ομοιογενής αλληλεπίδραση του ενέματος αποκατάστασης με το ιστορικό κονίαμα υποστρώματος του ψηφιδωτού (8).

Βιβλ. Αναφορές [24], [25], [26]

Συμπεράσματα επιφάνειας Ψ_{KT}

- Η κατάσταση διατήρησης τόσο του ψηφιδωτού όσο και του επιχρίσματος Fossati είναι κακή.
- Η παρουσία υγρασίας και διαλυτών αλάτων αποτελούν τους κύριους παράγοντες φθοράς για το ψηφιδωτό του 10^{ου} αιώνα και του επιχρίσματος.
- Το επίχρισμα Fossati είναι το μέσο που άγει την υγρασία προς το κονίαμα υποστρώματος του ψηφιδωτού επιτείνοντας τη διαδικασία αποκόλλησης του από την τοιχοποιία, υποδεικνύοντας ότι δεν επιτελεί πλέον το ρόλο του ως επέμβαση συντήρησης - αποκατάστασης.
- Η σωστική επέμβαση του υδραυλικού ενέματος αποκατάστασης δείχνει να συγκρατεί το έτοιμο προς αποκόλληση κονίαμα υποστρώματος.

Τελικά Συμπεράσματα

Από την επί τόπου χρήση των μη καταστρεπτικών τεχνικών:

- της Υπερηχοσκόπησης,
- του Γεωραντάρ,
- της Θερμογραφίας Υπερύθρου και
- της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών

εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σε σχέση με:

(α) την κατάσταση διατήρησης των υλικών των εξεταζόμενων ψηφιδωτών,

καθώς και

(β) την αποτίμηση της συμβατότητας παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης.

Συνεπώς, η χρήση τους συνιστά μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την επί τόπου διαγνωστική μελέτη επιφανειών ψηφιδωτών

Acknowledgements

Ευχαριστίες

Οι θερμές ευχαριστίες στους:

Ε. Αγγελακοπούλου, Α. Αγγελόπουλος, Σ. Γρινιεζάκη, Μ. Καρόγλου, Π. Κάρμη, Μ. Κουή, & Γ. Χαραλαμπόπουλο, για την καθοριστική συμβολή τους στην εφαρμογή και την αποτίμηση των αποτελεσμάτων του επί τόπου μη καταστρεπτικού ελέγχου των ψηφιδωτών του τρούλου,

Α. Μπακόλα και Μ. Γιαννουλάκη για την καθοριστική συμβολή τους στη διαγνωστική μελέτη των υλικών των ψηφιδωτών του τρούλου, καθώς και τον

Ν. Π. Αβδελίδη, για την καθοριστική συμβολή του τόσο στην εφαρμογή και την αποτίμηση των αποτελεσμάτων του επί τόπου μη καταστρεπτικού ελέγχου των ψηφιδωτών του τρούλου, όσο και στην διαγνωστική μελέτη των υλικών των ψηφιδωτών του τρούλου.

Βιβλιογραφία

1. ASTM C597, "Standard test Method for Pulse Velocity through Concrete".
2. E A Whitehurst, "Evaluation of concrete properties from sonic tests", American Concrete Institute, Detroit, 1966.
3. ASTM D2845-95e1, "Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock".
4. B Christaras, F Auger, "Determination of the moduli of elasticity of rocks. Comparison of the ultrasonic velocity and mechanical resonance frequency methods with direct static methods", Journal of Materials and Structures, Vol 27, pp 222-228, 1994.
5. A Moropolou, B Christaras, M Kouli, N P Avdelidis, Th Tsiourva, Ch Kourteli, "Integrated Non-destructive evaluation for the protection of Cultural Heritage", Emerging Technologies in Non Destructive Testing Proceedings, pp 323-333, 2000.
6. T Saarenketo, T Scullion, "Road evaluation with ground penetrating radar", Journal of applied geophysics, Vol 43, pp 119-138, 2000.
7. ASTM D6432-99, "Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation".
8. A Moropoulou, N P Avdelidis, M Kouli, N K Kanellopoulos, "Dual band infrared thermography as a NDT tool for the characterization of the building materials and conservation performance in historic structures", MRS Proceedings, Vol 591, pp 169-174, 2000.
9. E Gayo, J De Frutos, "Interference filters as an enhancement tool for infrared thermography in humidity studies of building elements", Infrared Physics and Technology Journal, Vol 38, pp 251-258, 1997.
10. A Moropoulou, M Kouli, N P Avdelidis, "Infrared thermography as an NDT tool in the evaluation of materials and techniques for the protection of historic monuments", Insight, Vol 42, No 6, pp 379-383, 2000.
11. D J Roth, J R Bodis, C Bishop, "Thermographic imaging for high-temperature composite materials - a defect detection study", NASA Technical Memorandum 106950, 1995.
12. T Inagaki, T Ishii, T Iwamoto, "On the NDT and E for the diagnosis of defects using infrared thermography", NDT & E International Journal, Vol 32, pp 247-257, 1999.
13. A Moropoulou, "Reverse engineering to discover traditional technologies: A proper approach for compatible restoration mortars", PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, Vol 58, pp 81-107, 2000.
14. Moropoulou, A., Bakolas, A., Giannoulaki, M., Karoglou, M., "Characterization of Dome mosaics of Hagia Sophia in Constantinople", Scienza e Beni Culturali XVIII, ed. G. Biscontin, G. Driussi, Publ. Arcadia Ricerche, (2002) pp. 225-235.
15. Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Delegou, E.T., Gill, C.H., Smith, J., "Study of deterioration mechanisms of vitreous tesserae mosaics", Scienza e Beni Culturali XVIII, ed. G. Biscontin, G. Driussi, Publ. Arcadia Ricerche, (2002) pp. 843-851

Βιβλιογραφία

16. A. Moropoulou, E. T. Delegou, N.P. Avdelidis, "Diagnostic Study of Glass Tesserae from the Dome of Hagia Sophia", 5th Symposium of the Hellenic Society of Archaeometry, Athens, Greece, October 2008, Book of Proceedings in press.
17. R.J. Mainstone, "Hagia Sophia. Architecture, structure and liturgy of Justinian's great church", 1997.
18. R. Ozil, "The conservation of the dome mosaics of Hagia Sophia", in Light on Top of the Black Hill - Studies presented to Halet Cambel, ed. By G. Arsebuk, M.J. Mellink, W. Schirmer, 1998, pp.543-552.
19. D. Almesberger, L. Sartore, S. Meriani, "Diagnosi e monitoraggio della basilica di Santa Sofia ad Istanbul", Cassino, Idea Stampa, ed. By G. Mascolo, 1997, pp. 41-48.
20. G. Accardo, G. Vigliano, "Strumenti e materiali del restauro. Metodi di analisi, misura e controllo", Kappa, 1989, pp. 138-145.
21. G. Accardo, "Impiego della termovisione per la conservazione sistrutture lakidee:Due applicazioni esemplificative, Mosaici dell' XI e XII secolo della Basilica si Torcello (Venezia)", Bolletino d'arte:Suppl.41, 1986, pp.116-124.
22. A. Moropoulou, N.P. Avdelidis, E. Aggelakopoulou, S. Griniezakis, M. Kouli, A. Aggelopoulos, P. Karmis, N.K. Uzunoglou, "Examination of plastered mosaic surfaces using NDT techniques", Insight - Journal of the British Institute of NDT, 2001.
23. R. Newton, S. Davison, "Conservation of glass", Butterworths, 1989.
24. A. Moropoulou, N.P. Avdelidis, E.T. Delegou, E. Aggelakopoulou, M. Karoglou, G. Haralampopoulos, S. Griniezakis, M. Kouli, P. Karmis, A. Aggelopoulos, E.A. Karagianni, Ch. Georgiadi, N.K. Uzunoglou, "NDT investigation on Hagia Sophia mosaics", Research Work, NTUA, 2000.
25. Moropoulou, A., Kouli, M., Avdelidis, N.P., Delegou, E.T., Aggelakopoulou, E., Karoglou, M., Karmis, P., Aggelopoulos, A., Griniezakis, S., Karagianni, E.A., Uzunoglou, N.K., "Investigation for the compatibility of conservation interventions on Hagia Sophia mosaics using NDT techniques", PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, 59 (2000) pp. 103-120.
26. A. Moropoulou, M. Kouli, N.P. Avdelidis, E.T. Delegou, E. Aggelakopoulou, M. Karoglou, P. Karmis, A. Aggelopoulos, S. Griniezakis, E.A. Karagianni, N.K. Uzunoglou, "NDT methodology for the protection of mosaics", in 7th International Conference on Non-destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage, Edited by: R. Van Grieken, K. Janssens, L. Van't dack, G. Meersman, (2002), Book of Proceedings.