



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

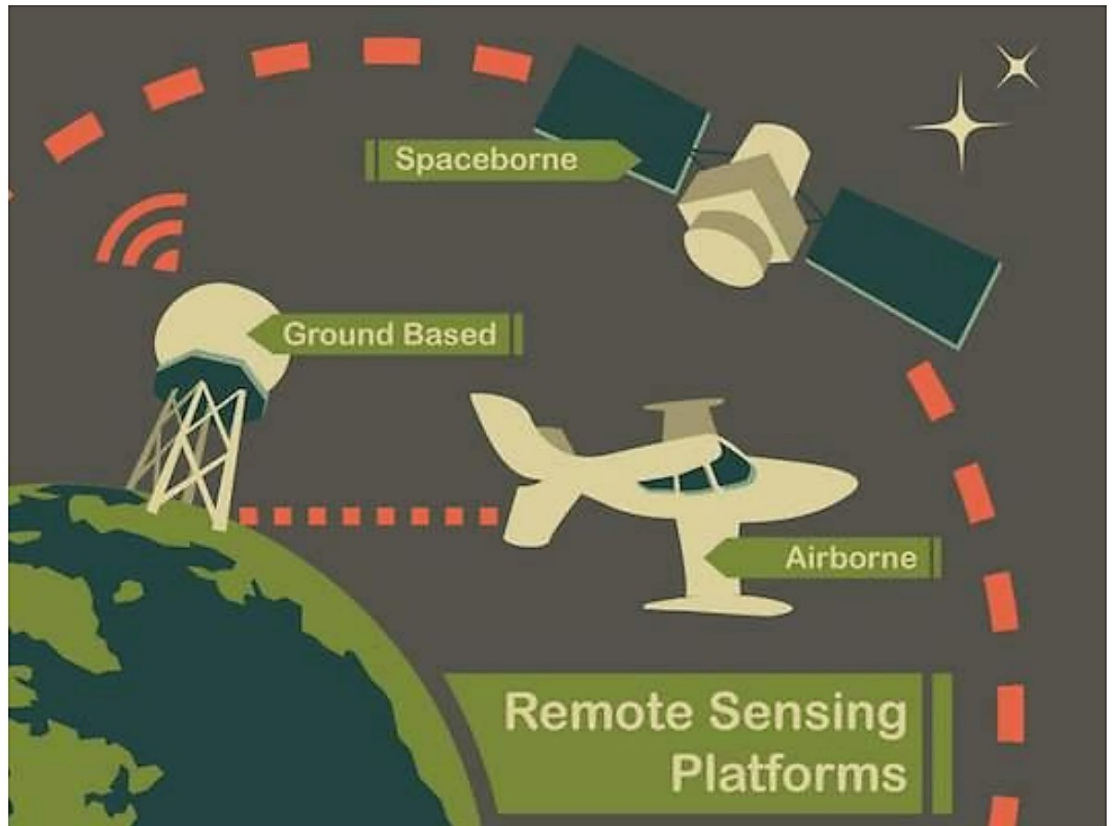
Εργαστήριο Κατεύθυνσης Φυσικής Περιβάλλοντος

Άσκηση 3

Εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης
για τη μελέτη του περιβάλλοντος

Τι είναι η τηλεπισκόπηση;

- Τηλεπισκόπηση είναι η διαδικασία λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο από απόσταση.
- Οι αισθητήρες μπορεί να είναι επίγειοι, να βρίσκονται πάνω σε ένα αεροσκάφος ή σε έναν δορυφόρο.



Ιστορική αναδρομή στη δορυφορική τηλεπισκόπηση

First aerial photos, 1858

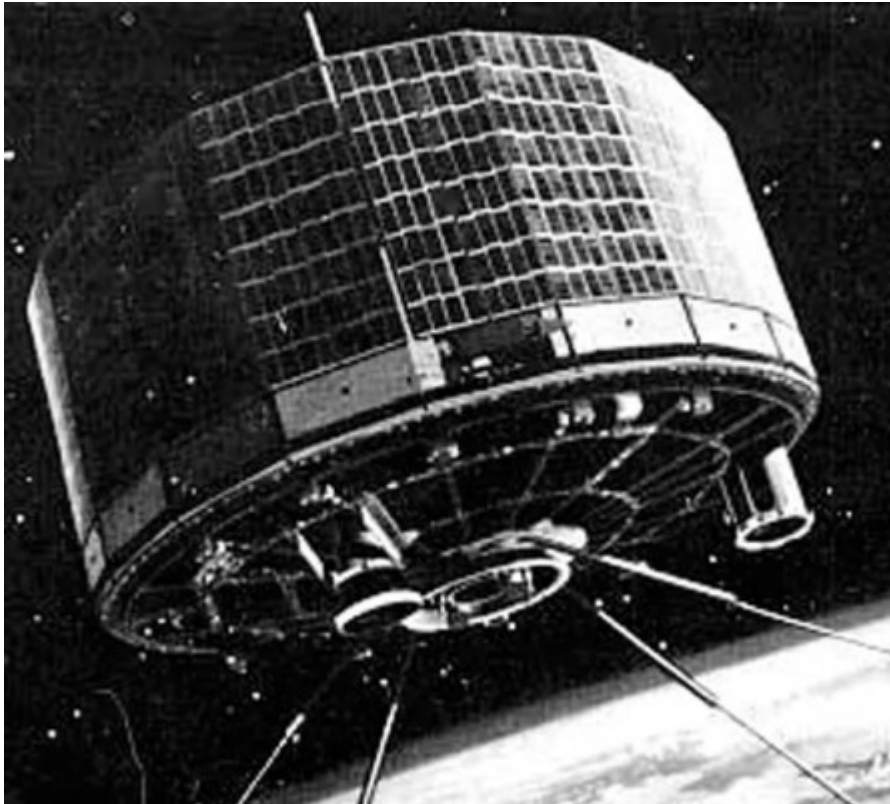


Sputnik, 1957



Ιστορική αναδρομή στη δορυφορική τηλεπισκόπηση

TIROS, 1960



Landsat, 1972



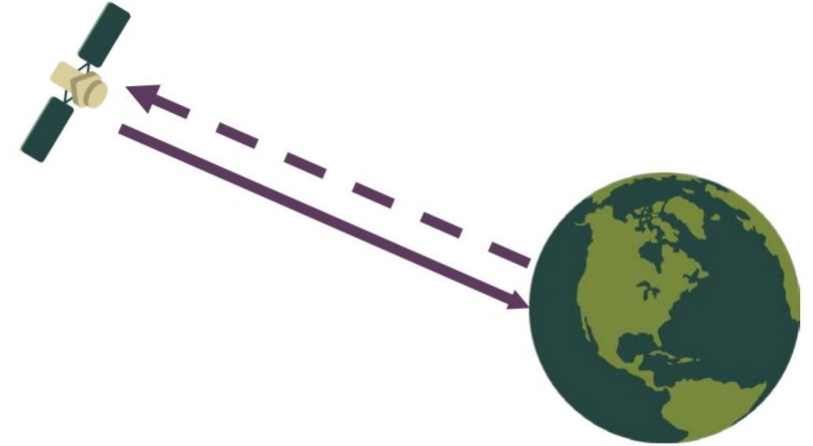


Κατηγορίες δορυφορικών συστημάτων και αισθητήρων

- **Πηγή καταγραφόμενης ακτινοβολίας:** ενεργή τηλεπισκόπηση, παθητική τηλεπισκόπηση
- **Είδος τροχιάς:** δορυφόροι χαμηλής τροχιάς, γεωστάσιμοι δορυφόροι
- **Φασματική περιοχή:** π.χ., ορατό, θερμικό υπέρυθρο, μικροκύματα
- **Διακριτική ικανότητα:** χωρική, χρονική, φασματική, ραδιομετρική
- **Εφαρμογές:** π.χ., μετεωρολογία, μελέτη ωκεανών, αέρια ρύπανση

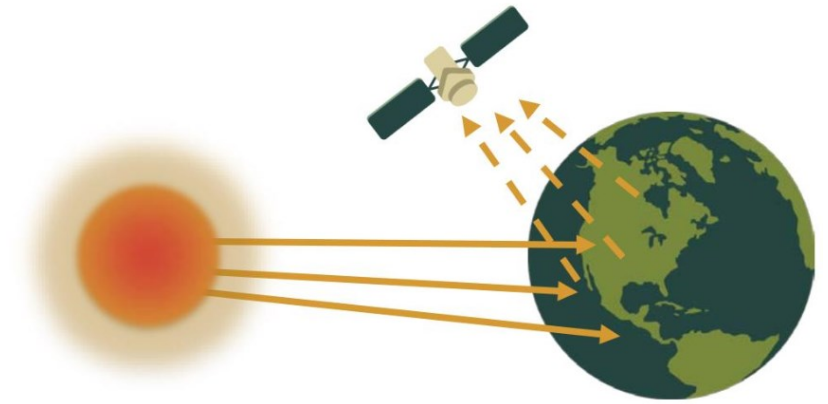
Ενεργή (active) τηλεπισκόπηση

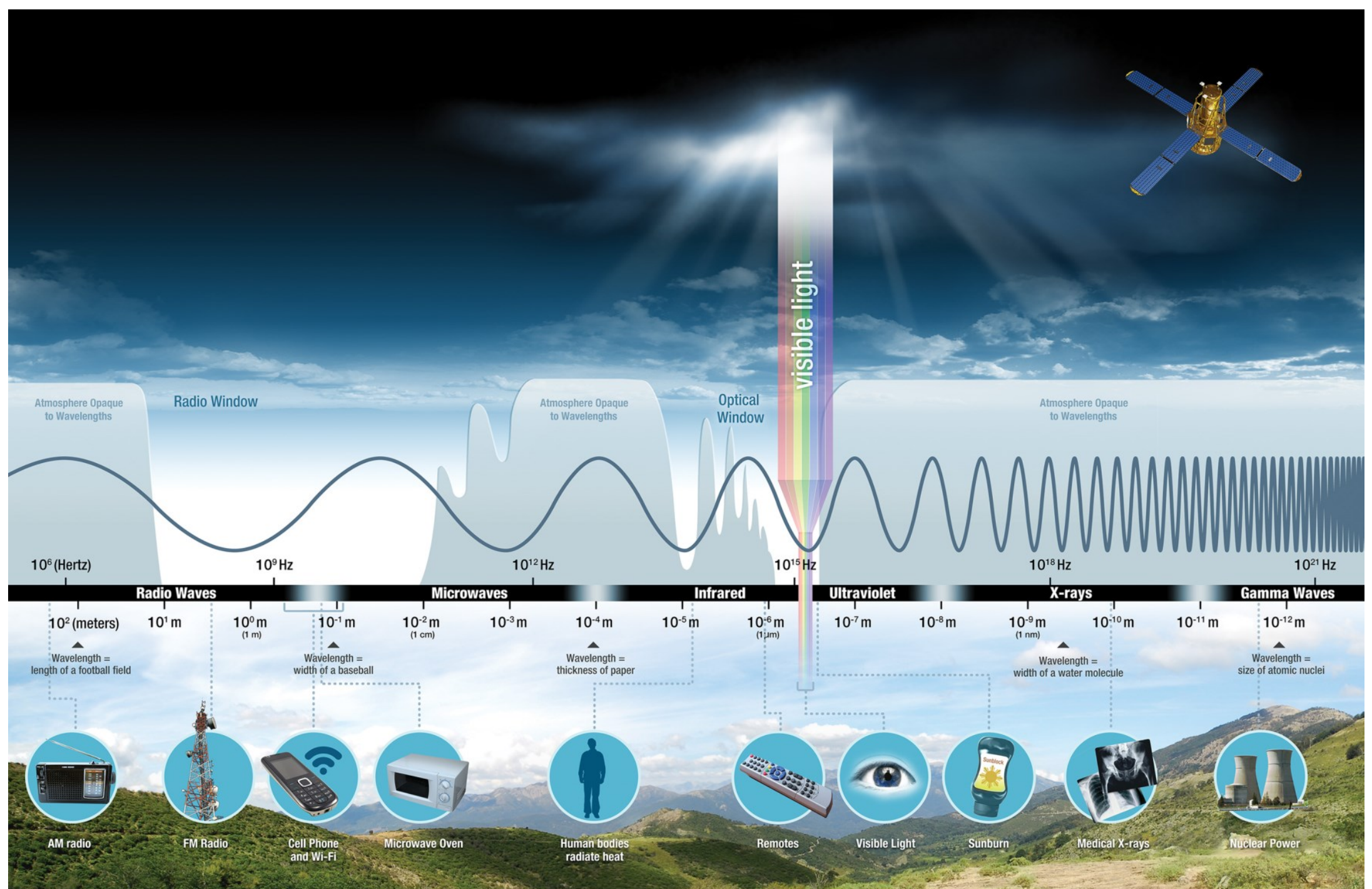
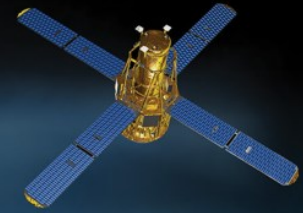
- Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί τη δική του πηγή ενέργειας.
- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται από το όργανο, ανακλάται στην υπό μελέτη επιφάνεια και επιστρέφει σε αυτό.
- Π.χ., Radar, Lidar



Παθητική (passive) τηλεπισκόπηση

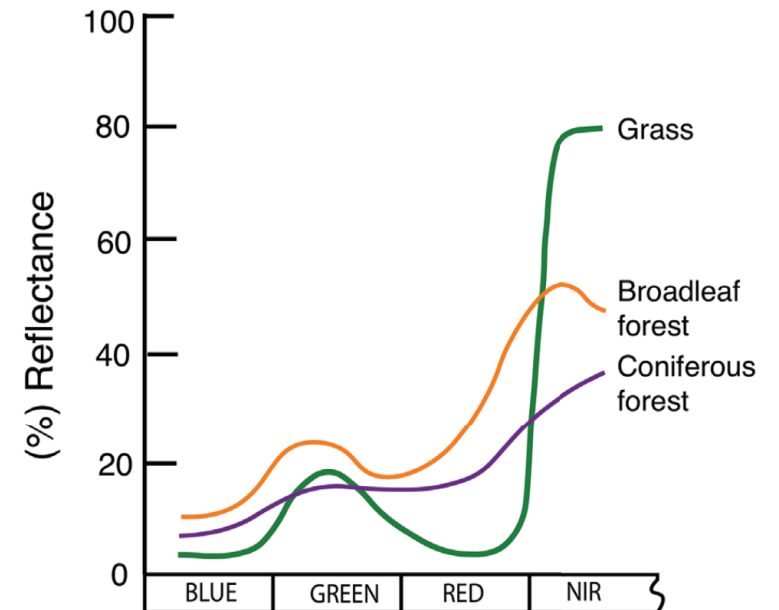
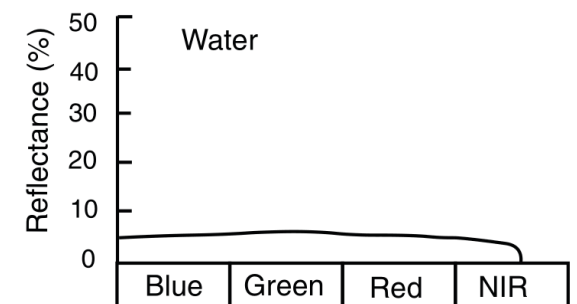
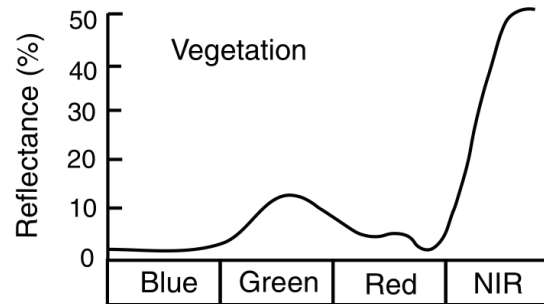
- Οι αισθητήρες καταγράφουν την ακτινοβολία η οποία είτε ανακλάται είτε εκπέμπεται από τη Γη.
- Ανάλογα με το όργανο, η ανίχνευση της ακτινοβολίας γίνεται σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.





Φασματική υπογραφή

- Κάθε υλικό απορροφά και ανακλά με διακριτό τρόπο στα διάφορα μήκη κύματος (φασματική υπογραφή).
- Επομένως, αξιοποιώντας τις καταγραφές ενός δορυφόρου μπορούμε να εκτιμήσουμε από ποιο υλικό προήλθε η ακτινοβολία.



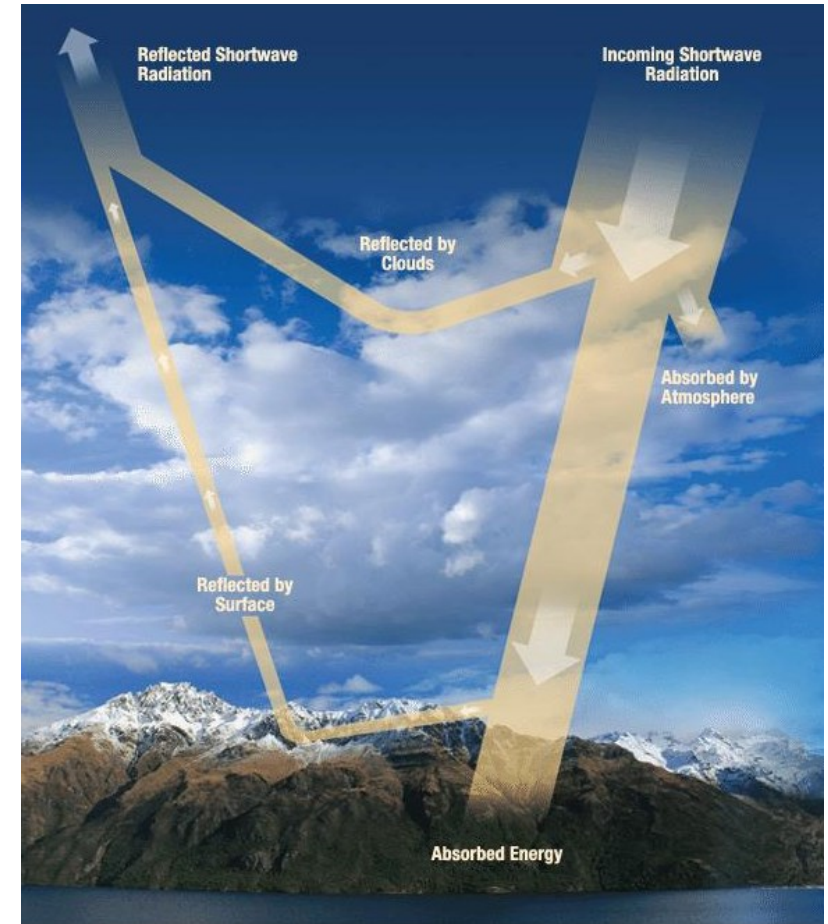
Φασματική ταξινόμηση



- Σκουρόχρωμα δομικά υλικά
- Γκρίζα δομικά υλικά
- Ανοιχτόχρωμα δομικά υλικά
- Κόκκινα δομικά υλικά
- Βλάστηση
- Χώμα
- Θαμνώδες έδαφος
- Βραχώδες έδαφος
- Υδάτινες επιφάνειες

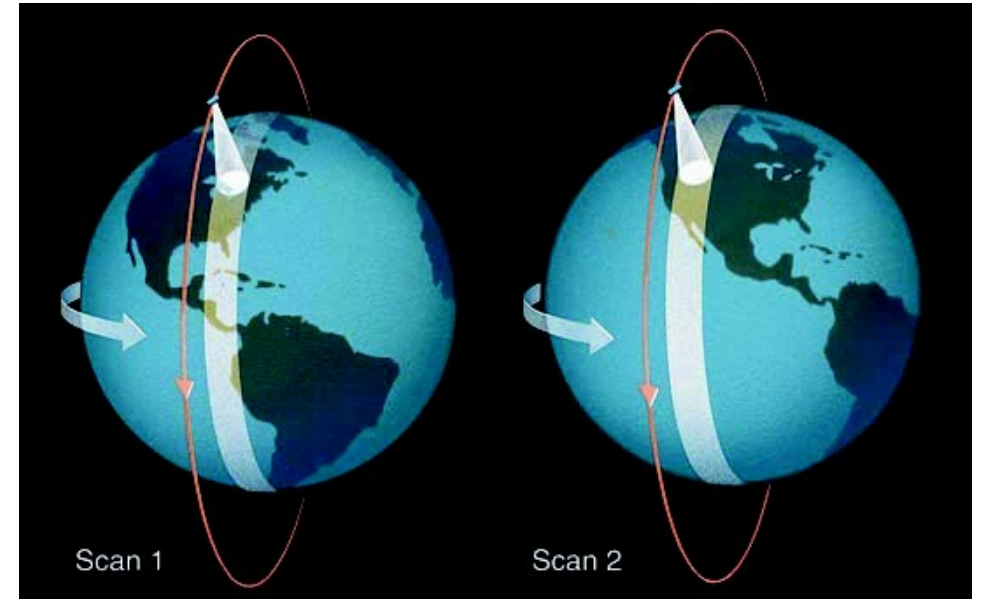
Ατμοσφαιρική διόρθωση για την ανακλώμενη ακτινοβολία

- Καθώς διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα σκεδάζεται από τα μόρια και τα αιωρούμενα σωματίδια.
- Η παραπάνω επίδραση αφαιρείται μέσω της διαδικασίας της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, έτσι ώστε να προσδιοριστεί τελικά η ανακλώμενη ακτινοβολία αποκλειστικά από την επιφάνεια της Γης.

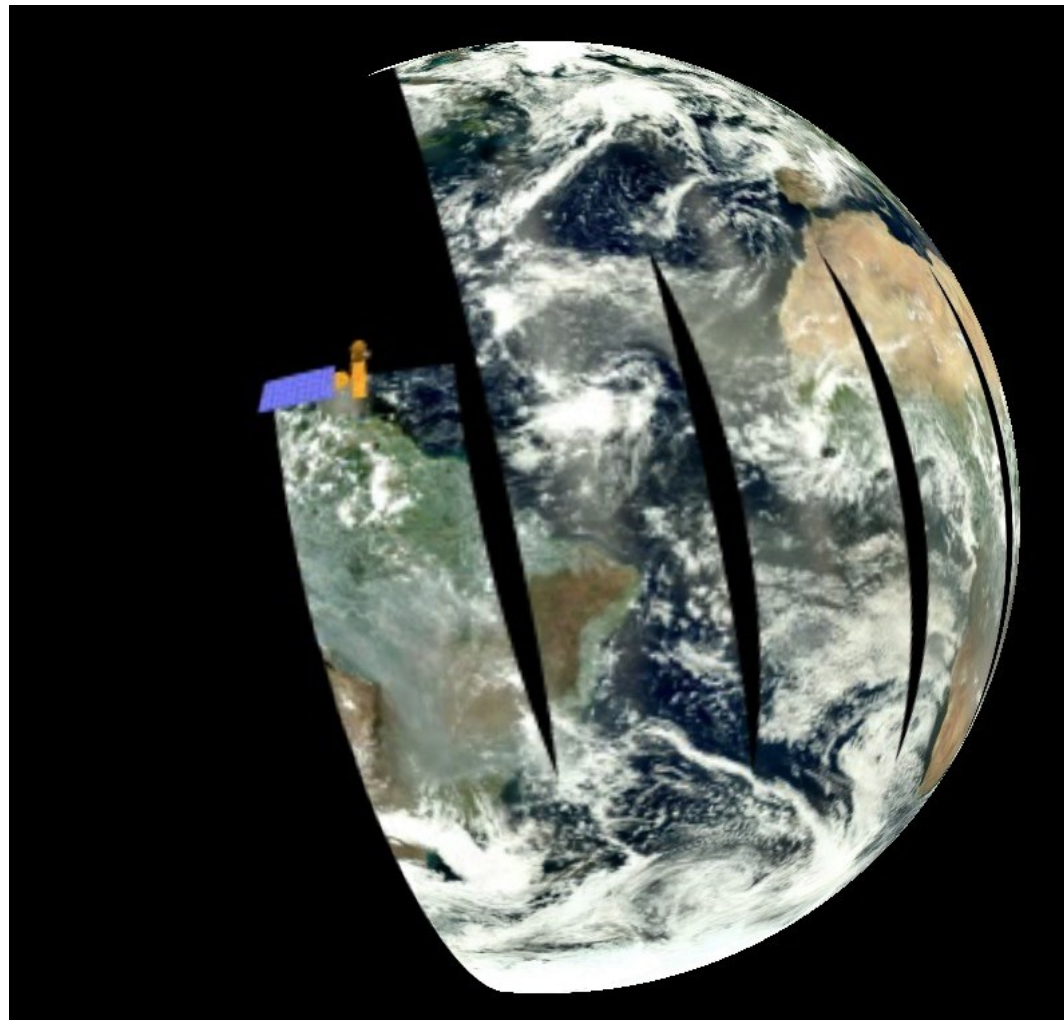


Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς (Low Earth Orbit, LEO)

- Ύψος: 150 km – 2000 km
- Η τροχιά τους είναι κατά τη διεύθυνση βοράς – νότος.
- Απαιτείται περίπου 1½ ώρα για μια πλήρη τροχιά.
- Εάν διέρχονται από τους πόλους η τροχιά τους ονομάζεται πολική.
- Έχουν μικρή επιφάνεια επόπτευσης αλλά υψηλή χωρική ανάλυση.

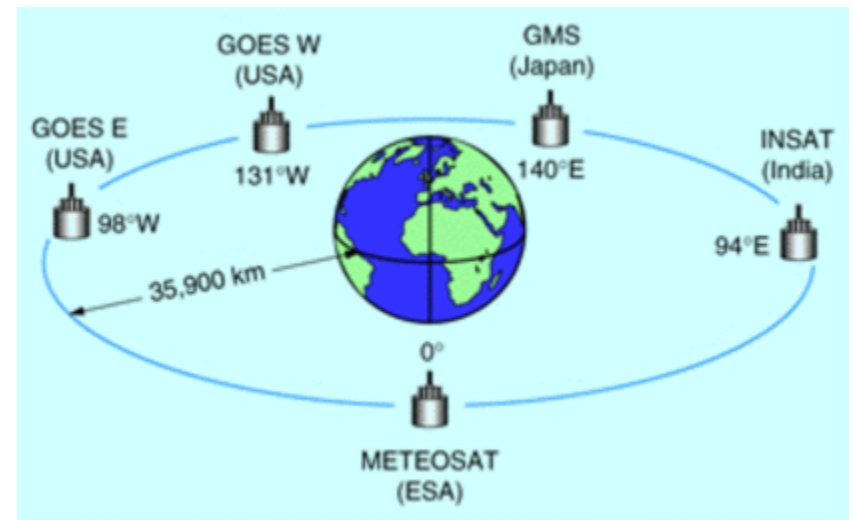
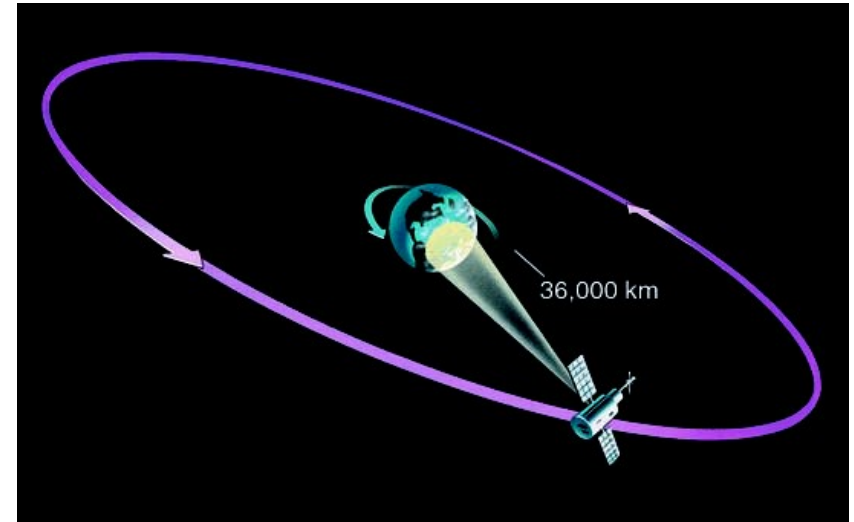


Δορυφόροι χαμηλής τροχιάς – πολικοί δορυφόροι

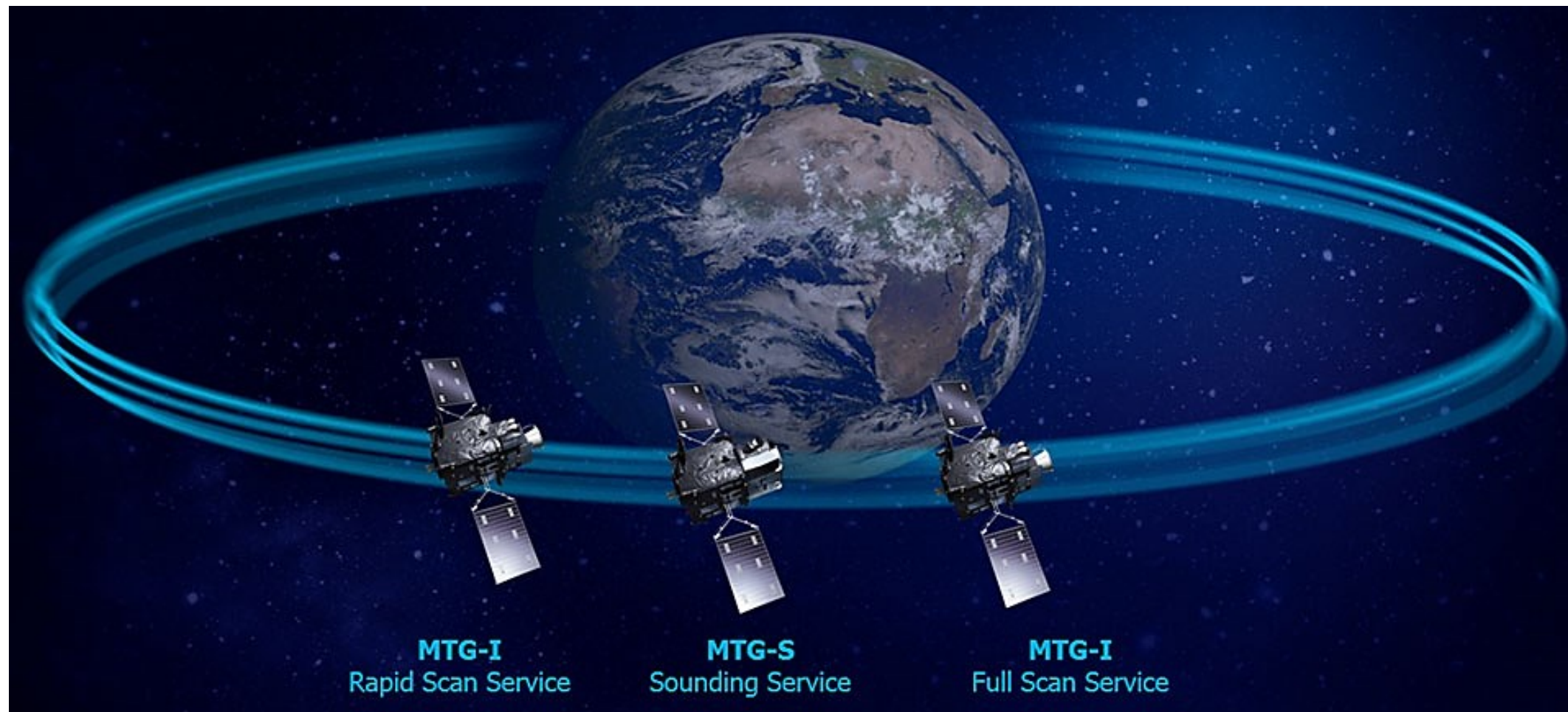


Δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς

- Ύψος: 36000 km
- Η τροχιά τους είναι κατά τη διεύθυνση δύση – ανατολή.
- Η περίοδος της τροχιάς τους είναι 24 ώρες.
- Επομένως η τροχιά τους είναι συγχρονισμένη με την περιστροφή της Γης και παρακολουθούν πάντα την ίδια περιοχή.



Δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς



Χωρική διακριτική ικανότητα

- Η χωρική διακριτική ικανότητα αντιστοιχεί στη χωρική λεπτομέρεια που υπάρχει σε μια εικόνα.
- Υψηλότερη χωρική διακριτική ικανότητα αντιστοιχεί σε εικονοστοιχείο μικρότερων διαστάσεων.



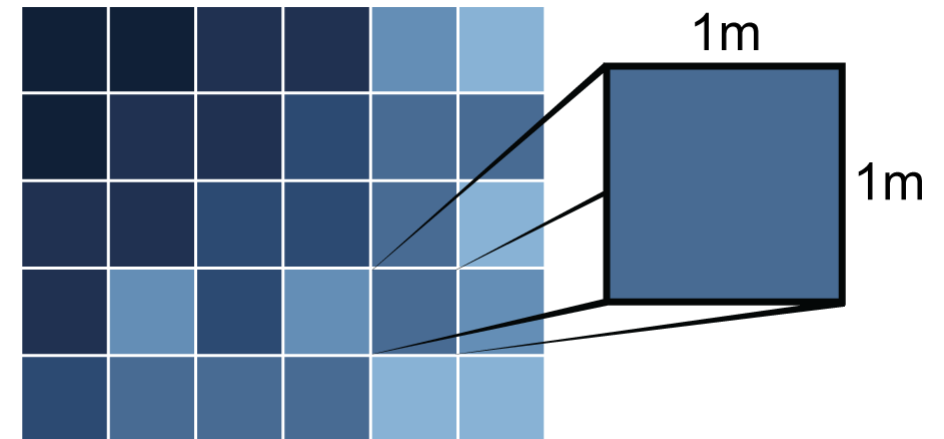
High Spatial Resolution



Medium Spatial Resolution



Low Spatial Resolution



500 × 500 m



50 × 50 m

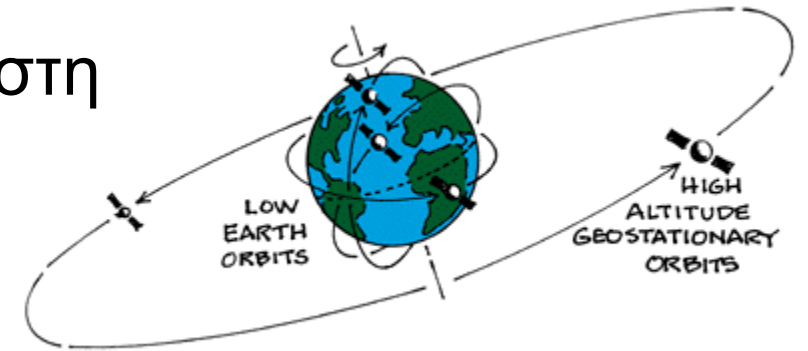


5 × 5 m



Χρονική διακριτική ικανότητα

- Η χρονική διακριτική ικανότητα αντιστοιχεί στη συχνότητα καταγραφής εικόνων για μια δεδομένη περιοχή.
- Εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το ύψος της τροχιάς.
- Οι γεωστατικοί δορυφόροι έχουν χρονική επαναληπτικότητα της τάξης των λεπτών, ενώ οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς της τάξης των ωρών, ημερών ή εβδομάδων.

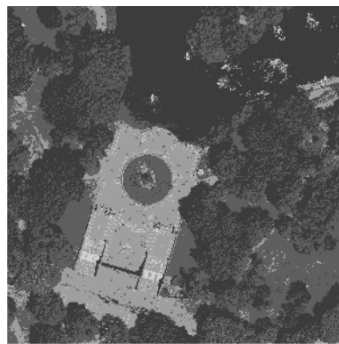


Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

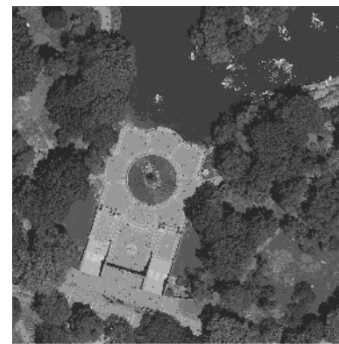
Αντιστοιχεί στην ικανότητα του αισθητήρα να καταγράφει μικρές διαφορές στην καταγραφόμενη ακτινοβολία.



1 bit



2 bit



3 bit

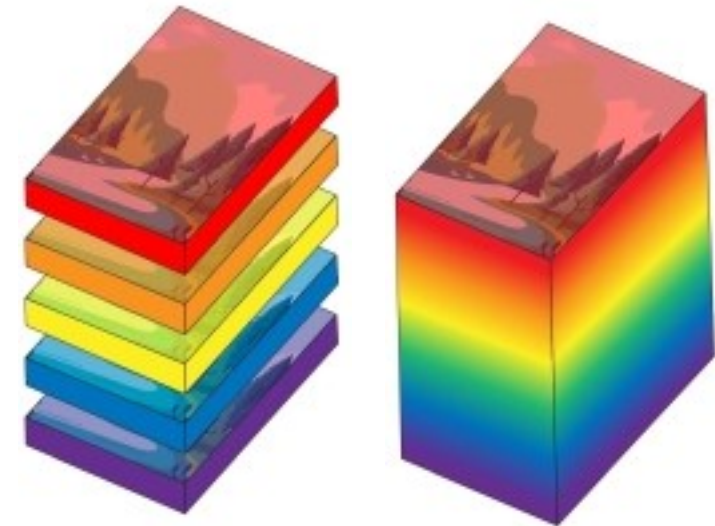
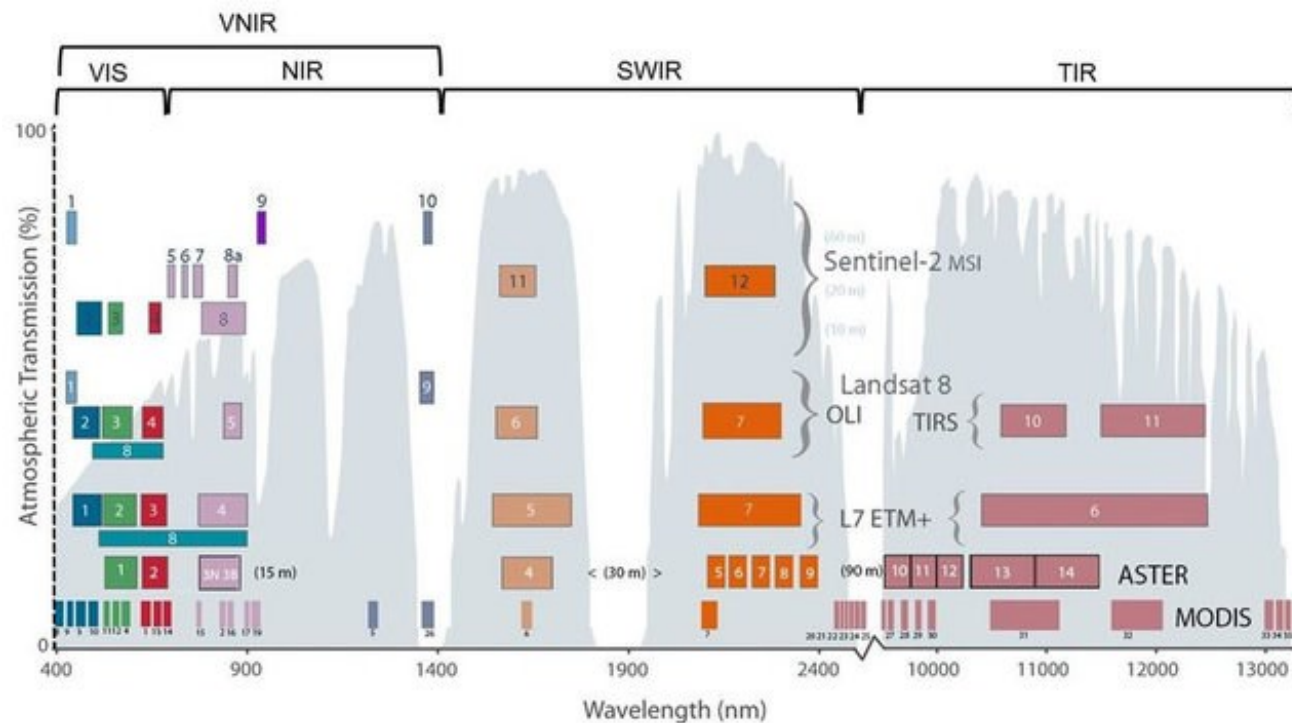


8 bit

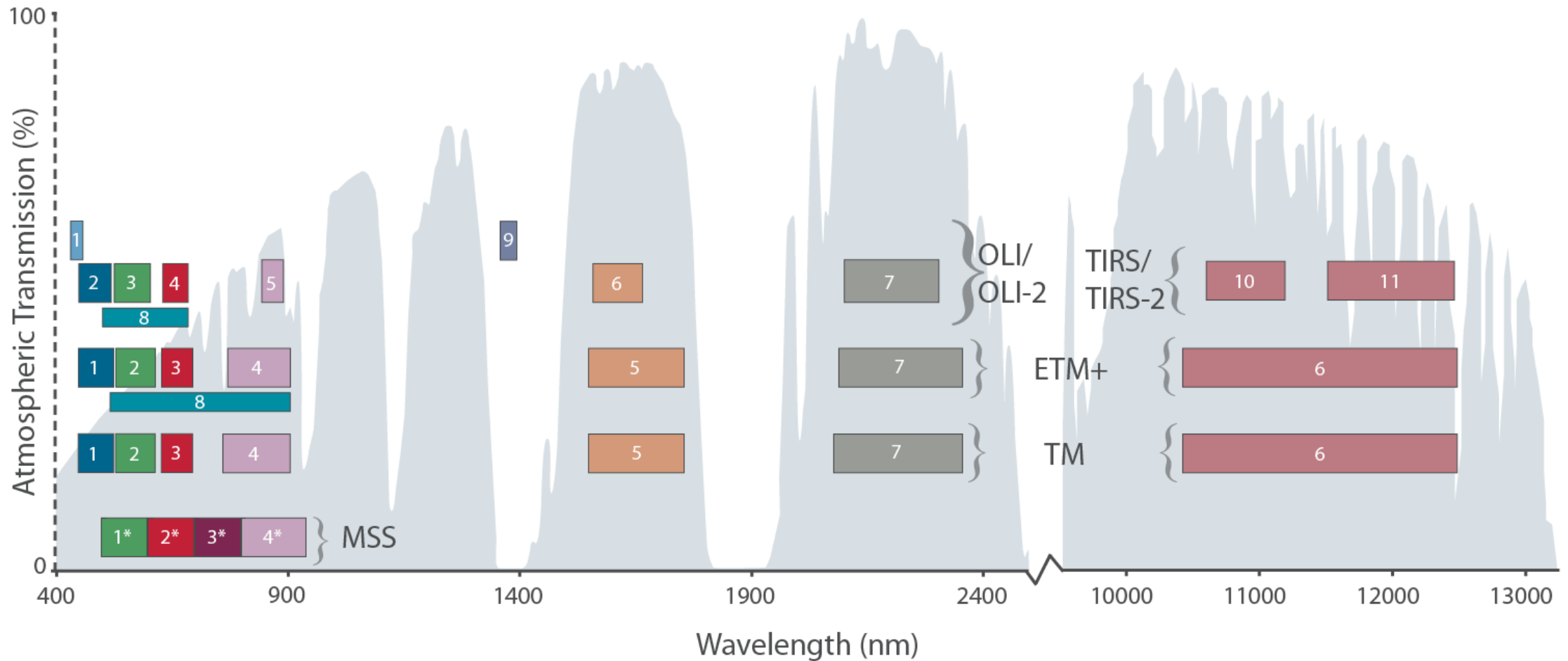


Φασματική διακριτική ικανότητα

Αντιστοιχεί στο πλήθος και το πλάτος των φασματικών περιοχών που καταγράφει ο αισθητήρας.



Φασματική διακριτική ικανότητα – Δορυφόροι Landsat

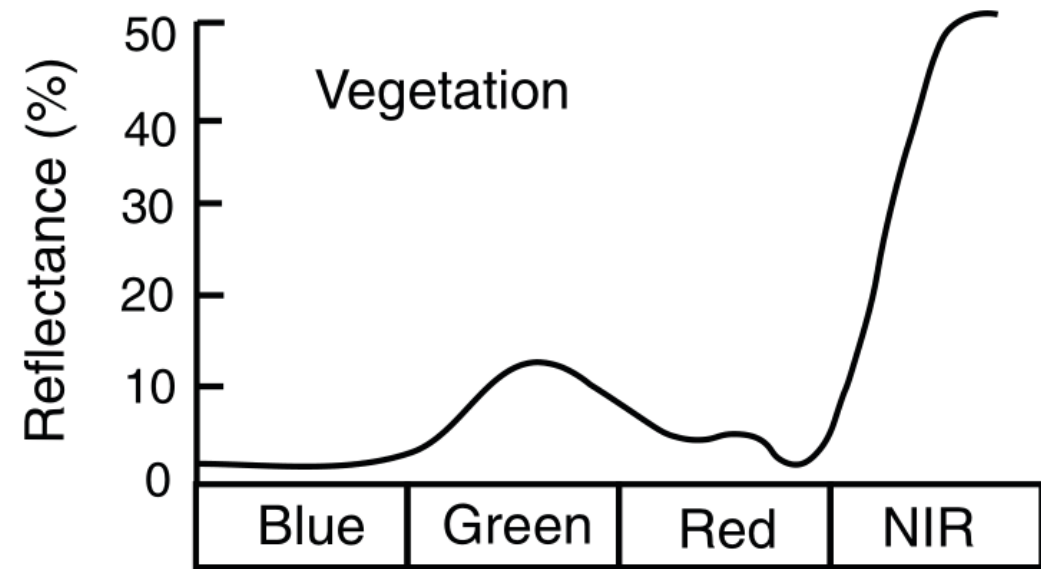


Εφαρμογές παρατήρησης της επιφάνειας της Γης

- Χρησιμοποιούνται κατά κανόνα δορυφόροι χαμηλής τροχιάς, καθώς απαιτείται υψηλή χωρική ανάλυση.
- Η διαδικασία της φασματικής ταξινόμησης μιας δορυφορικής εικόνας αποσκοπεί στην αυτοματοποίηση του εντοπισμού ομογενών επιφανειών.
- Η δορυφορική τηλεπισκόπηση συνεισφέρει σε πλήθος εφαρμογών, όπως στην υδρολογία, στη δασολογία, στην ωκεανογραφία, κ.ά.

Δείκτες βλάστησης

- Αποτελούν μέτρο για την εκτίμηση της ποσότητας και της υγείας της βλάστησης.
- Ένας δείκτης βλάστησης προκύπτει από τον συνδυασμό των τιμών σε διαφορετικά φασματικά κανάλια.

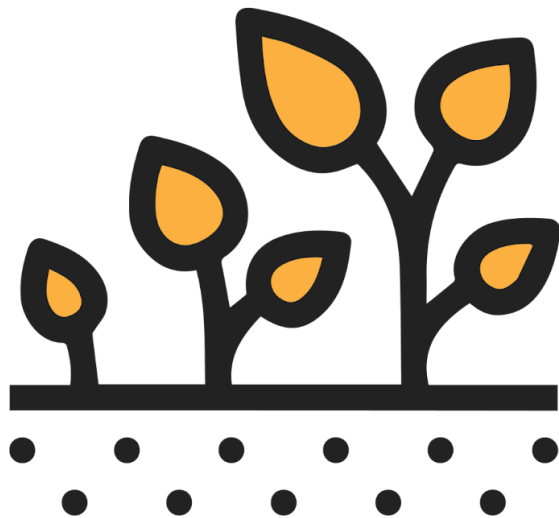


$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Unhealthy Vegetation

NIR
(Near Infrared)
40% ↑ ↓

RED
(Visible Red)
30% ↑ ↓

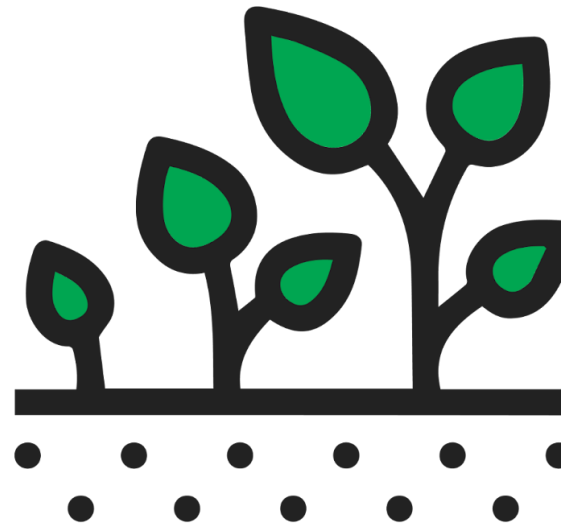


$$\text{NDVI} = \frac{\frac{0.40}{\text{(NIR)}} - \frac{0.30}{\text{(RED)}}}{\frac{0.40}{\text{(NIR)}} + \frac{0.30}{\text{(RED)}}} = 0.14$$

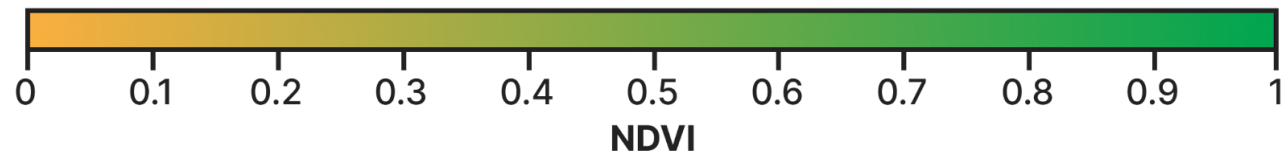
Healthy Vegetation

NIR
(Near Infrared)
50% ↑ ↓

RED
(Visible Red)
8% ↑ ↓



$$\text{NDVI} = \frac{\frac{0.50}{\text{(NIR)}} - \frac{0.08}{\text{(RED)}}}{\frac{0.50}{\text{(NIR)}} + \frac{0.08}{\text{(RED)}}} = 0.72$$



Δορυφορική τηλεπισκόπηση στο θερμικό υπέρυθρο

Επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους
(Land Surface Temperature, LST)

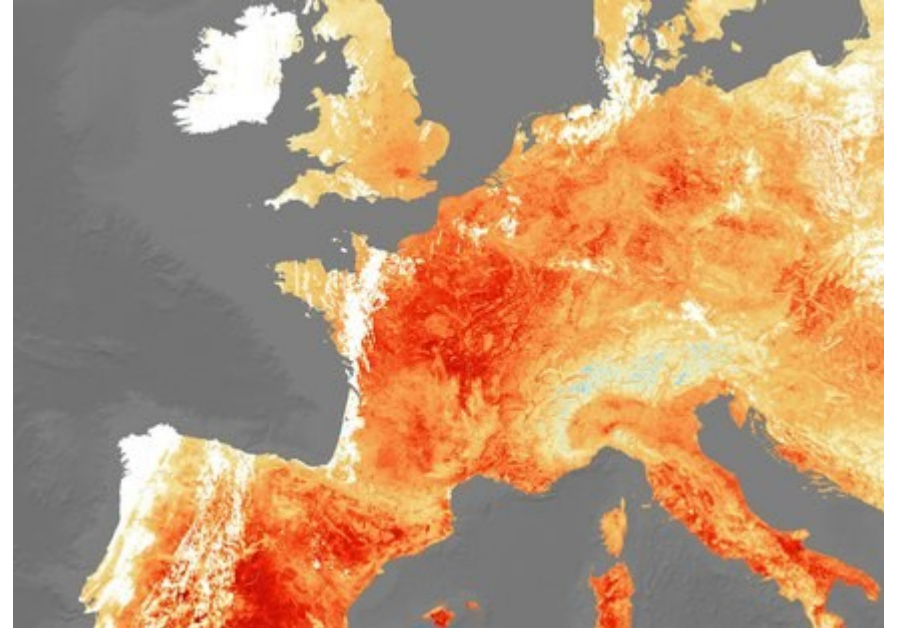
→ κεντρικό ρόλο στο επιφανειακό ισοζύγιο
ενέργειας

Εξίσωση διάδοσης ακτινοβολίας:

$$L_{\lambda}^{\text{sen}}(\theta) = \left[\varepsilon_{\lambda} B(\lambda, T_s) + (1 - \varepsilon) L_{\lambda}^{\text{atm}\downarrow} \right] \tau_{\lambda}(\theta) + L_{\lambda}^{\text{atm}\uparrow}(\theta)$$

Εξίσωση υπολογισμού LST:

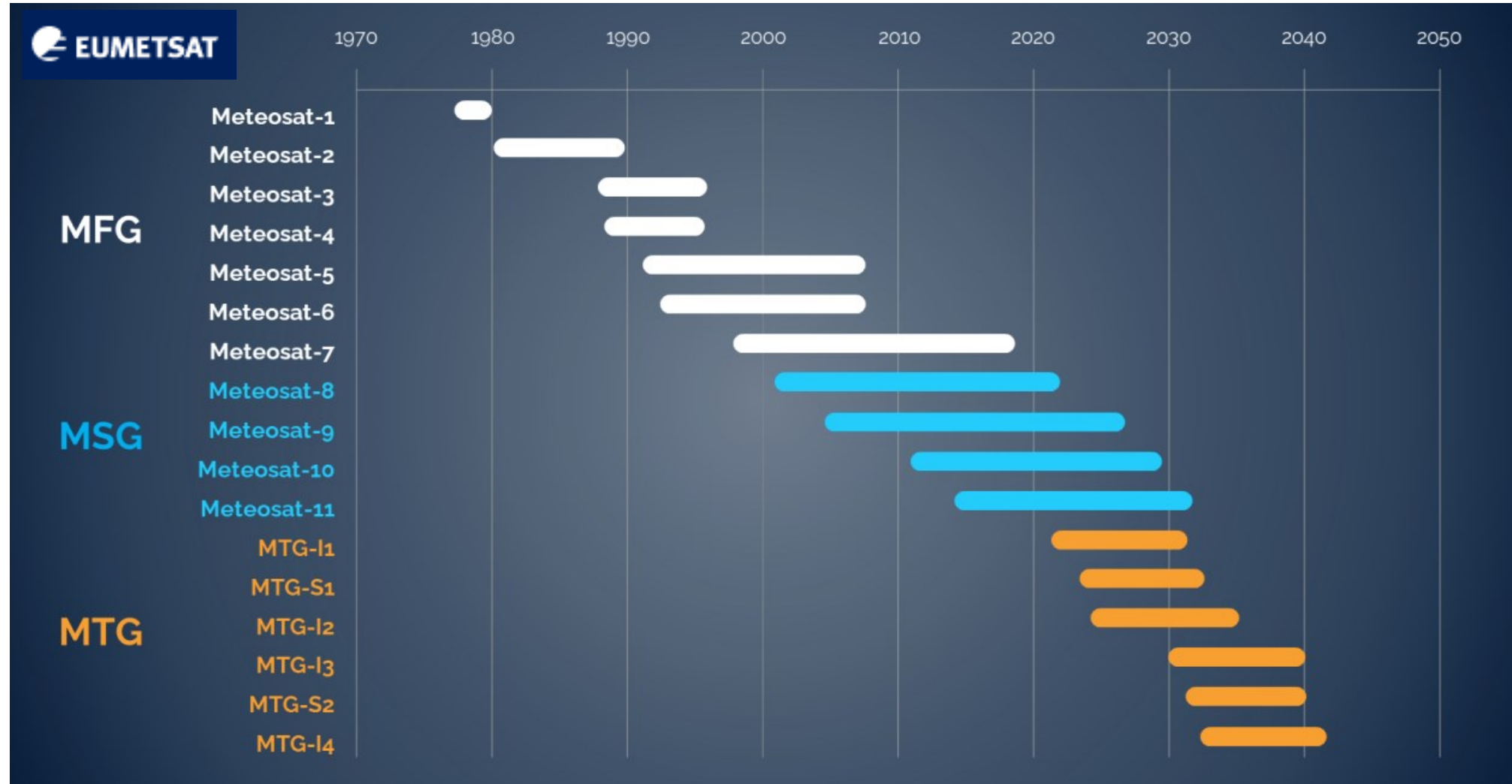
$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{\lambda}^{\text{sen}} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta$$



Μετεωρολογικές εφαρμογές



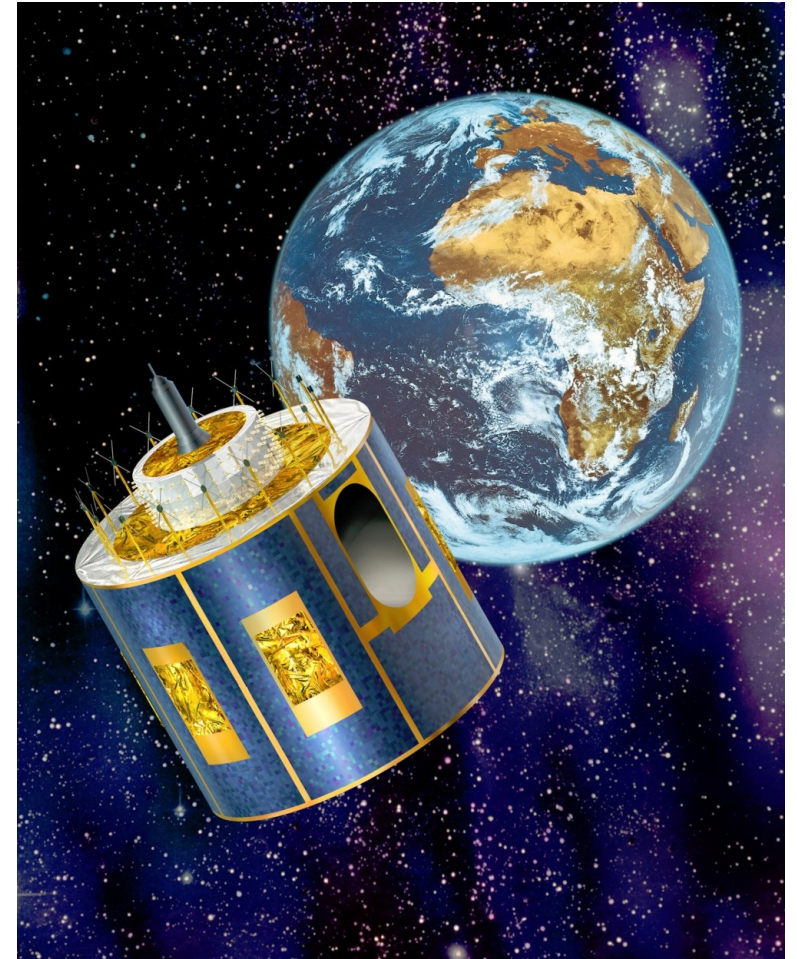
Μετεωρολογικές εφαρμογές



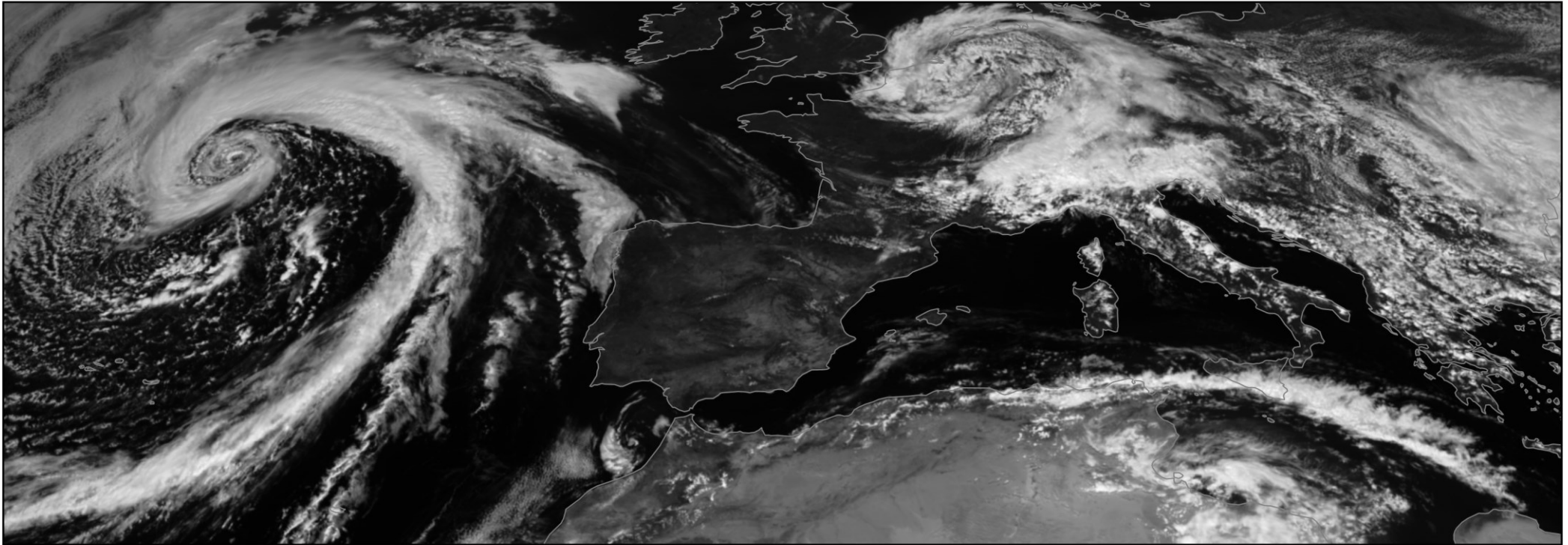
Meteosat Second Generation (MSG)

- Οι δορυφόροι MSG διαθέτουν το καταγραφικό όργανο SEVIRI.
- Χωρική διακριτική ικανότητα 3 km.
- Χρονική διακριτική ικανότητα 15 λεπτά.
- Η λειτουργία rapid scan επιτρέπει τη λήψη εικόνων ανά 5 λεπτά.

	Κανάλι
1	VIS0.6
2	VIS0.8
3	NIR1.6
4	IR3.9
5	WV6.2
6	WV7.3
7	IR8.7
8	IR9.7
9	IR10.8
10	IR12.0
11	IR13.4
12	HRV (1 km)



Κανάλι Visible (VIS) 0.6 μm



Κανάλι Visible (VIS) 0.6 μm

Υψηλή καταγραφόμενη ακτινοβολία = υψηλή ανακλαστικότητα

Τιμή αισθητήρα



Χαμηλή
Ανακλαστικότητα

Υψηλή
Ανακλαστικότητα

Κανάλι Visible (VIS) 0.6 μm

- Καταγράφεται ακτινοβολία η οποία ανακλάται τόσο από τις κορυφές των νεφών όσο και από την επιφάνεια της Γης.
- Σε μια μετεωρολογική δορυφορική εικόνα επιφάνειες με μεγάλη ανακλαστικότητα εμφανίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι, ενώ επιφάνειες με μικρή ανακλαστικότητα με σκούρες αποχρώσεις.
- Η ανακλαστικότητα ενός νέφους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πάχος του.

Κανάλι Infrared (IR) 10.8 μm



Κανάλι Infrared (IR) 10.8 μm

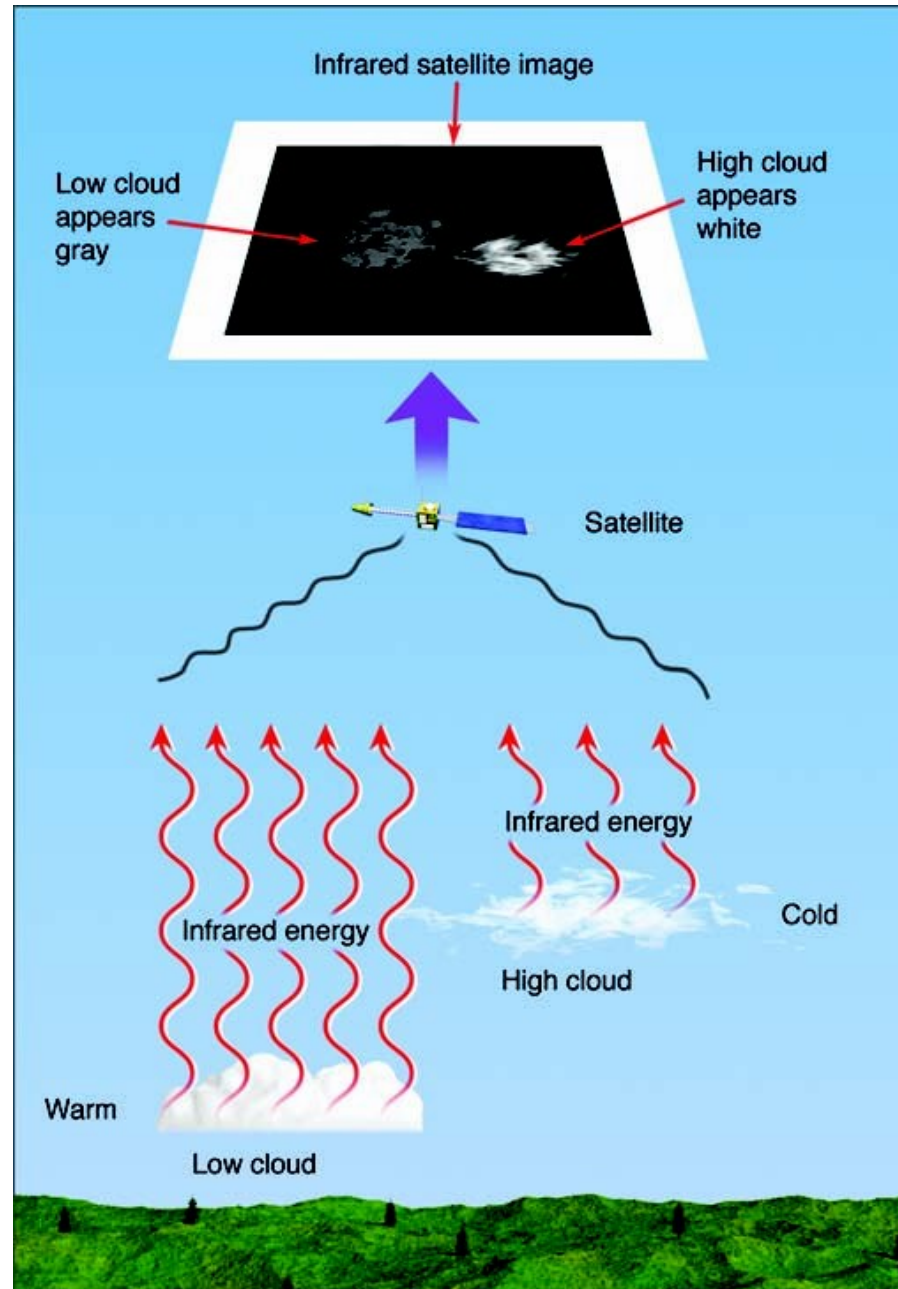
Υψηλή καταγραφόμενη ακτινοβολία = υψηλή θερμοκρασία

Τιμή αισθητήρα



Χαμηλή
Θερμοκρασία

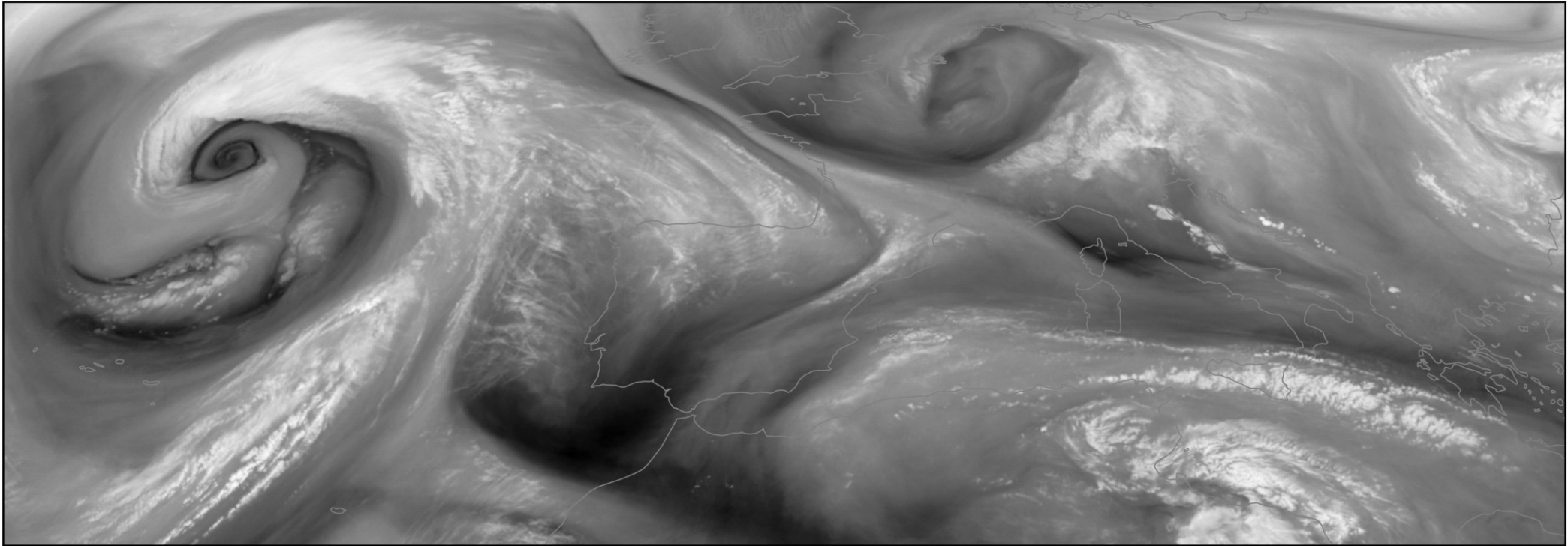
Υψηλή
Θερμοκρασία



Κανάλι Infrared (IR) 10.8 μm

- Καταγράφεται η θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπουν η επιφάνεια της Γης, τα νέφη και η ατμόσφαιρα.
- Σε μια μετεωρολογική δορυφορική εικόνα επιφάνειες με μεγάλη θερμοκρασία εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις του γκρι, ενώ επιφάνειες με μικρή θερμοκρασία με ανοιχτές αποχρώσεις.
- Η θερμοκρασία ενός νέφους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το ύψος του.

Κανάλι Water Vapor (WV) 6.2 μm



Κανάλι Water Vapor (WV) 6.2 μm

Υψηλή καταγραφόμενη ακτινοβολία = υψηλή θερμοκρασία = υδρατμοί σε χαμηλό ύψος = μικρή συγκέντρωση υδρατμών στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα

Τιμή αισθητήρα



**Χαμηλή
Θερμοκρασία**

**Υψηλή
Θερμοκρασία**

Κανάλι Water Vapor (WV) 6.2 μm

- Καταγράφεται η θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία στα μήκη κύματος όπου εκπέμπουν (και απορροφούν) έντονα οι υδρατμοί.
- Σε μια μετεωρολογική δορυφορική εικόνα περιοχές με χαμηλή υγρασία στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα (άρα με μεγάλη θερμοκρασία) εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις του γκρι.
- Περιοχές με μεγάλη περιεκτικότητα υδρατμών στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα (άρα με μικρή θερμοκρασία) εμφανίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις.

	Ακτινοβολία	Παράμετρος	Χαρακτηριστικά νέφους
VIS	Ανακλώμενη	Ανακλαστικότητα	Πάχος, σύσταση
TIR	Εκπεμπόμενη	Θερμοκρασία	Ύψος
WV	Εκπεμπόμενη	Θερμοκρασία	Περιεκτικότητα σε υδρατμούς στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα

Στοιχείο της εικόνας	Τυπική ανακλαστικότητα (%)
Cumulonimbus	90
Cirrostratus	30 – 75
Cumulus	40 – 70
Stratocumulus	60 – 70
Stratus	40 – 65
Χιόνι	60 – 90
Cirrus	35
Γυμνό έδαφος	25
Δάσος	15
Θάλασσα	10

	Έδαφος	Χιόνι	Ομίχλη	Χαμηλά νέφη	Μέσα νέφη	Υψηλά νέφη	Καταιγιδοφόρα νέφη
VIS	Μαύρο – Γκρι	Λευκό	Γκρι	Λευκό – γκρι	Γκρι	Ανοιχτό γκρι – Σκούρο γκρι	Λευκό
TIR	Μαύρο – Γκρι	Σκούρο γκρι – Μαύρο	Σκούρο γκρι	Γκρι – Σκούρο γκρι	Ανοιχτό γκρι	Ανοιχτό γκρι – Λευκό	Λευκό
WV	Μαύρο	Μαύρο	Σκούρο γκρι	Σκούρο γκρι	Γκρι	Γκρι	Λευκό

Μέτωπα και αεροχείμαρρος

- Το **ψυχρό μέτωπο** αποτυπώνεται από μια ζώνη καταιγιδοφόρων νεφών η οποία εκτείνεται σε μεγάλο μήκος και κατά κανόνα μικρό πλάτος.
- Το **θερμό μέτωπο** αποτυπώνεται από μια πλατιά ζώνη νεφών η οποία καλύπτει μεγαλύτερη έκταση από αυτή του ψυχρού μετώπου.
- Ο **αεροχείμαρρος** εντοπίζεται μέσω του ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα που έχει εισέλθει στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Στο κανάλι των υδρατμών εμφανίζεται συχνά ως μια σκουρόχρωμη μαύρη γραμμή.