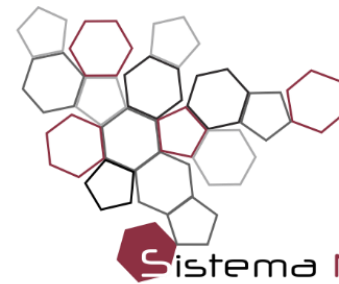




ARPAL

Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Sistemi di osservazione dell'atmosfera

Federico Cassola

Centro Funzionale Meteo-idrologico di Protezione Civile - ARPAL

Genova, 19 marzo 2021

L'importanza delle osservazioni meteorologiche

- Monitoraggio in tempo reale e previsioni a brevissimo termine (*nowcasting*)
- Inizializzazione modelli numerici di previsione: senza conoscere la condizione di partenza non possiamo prevedere il futuro!
- Serie storiche di lungo periodo per studi climatologici

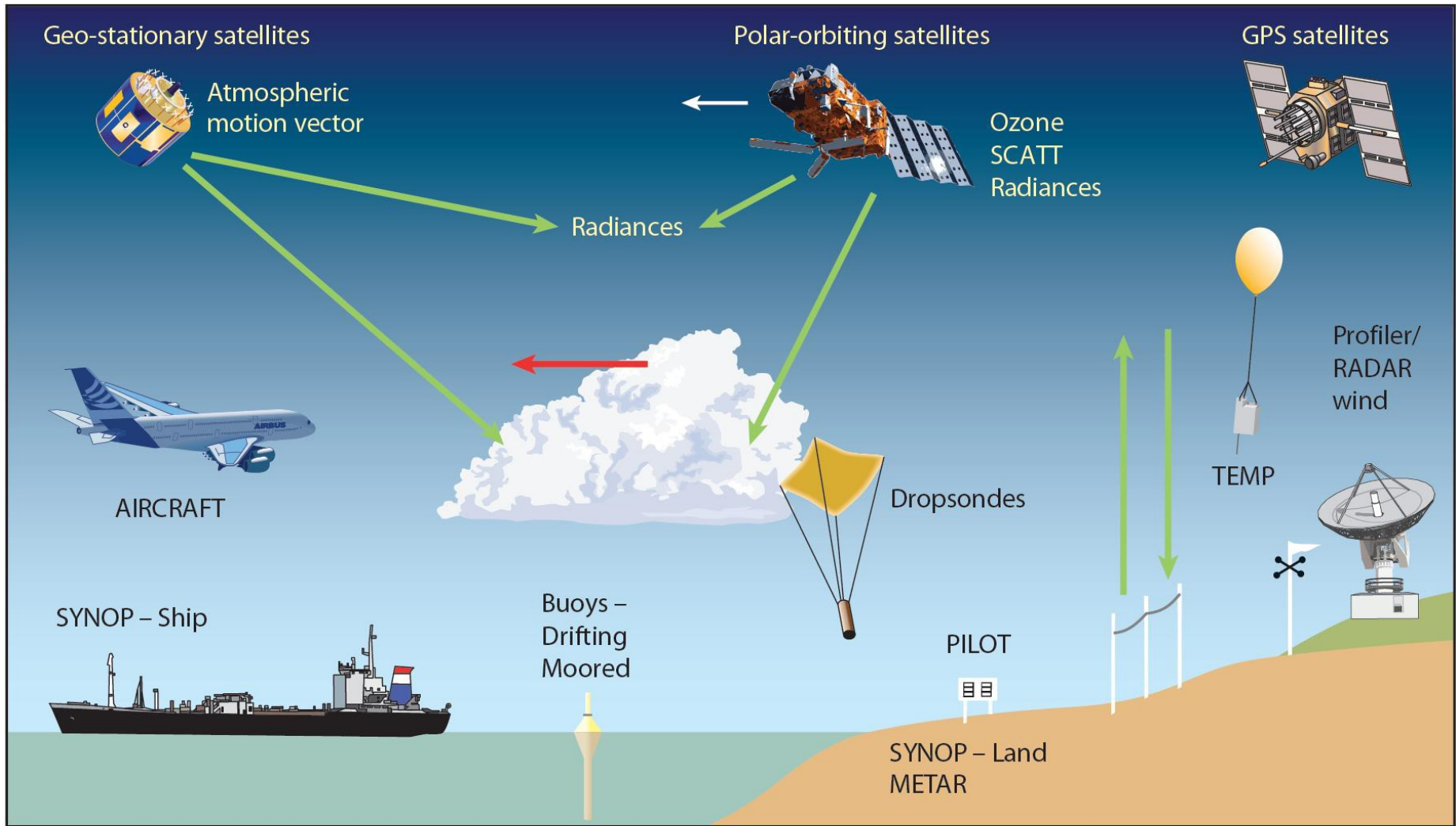
All'inizio dell'era moderna...

- Galileo Galilei costruisce il **termoscopio** tra XVI e XVII secolo
- Ferdinando de' Medici sviluppa il primo **termometro** vero e proprio con una rudimentale calibrazione (1641-1646)
- Evangelista Torricelli dimostra l'esistenza della pressione atmosferica e costruisce il **barometro** a mercurio (1643)
- Invenzione del **pluviometro** da parte del monaco benedettino Benedetto Castelli (1639)
- Costruzione del primo **igrometro** nel 1664 (Francesco Folli) e dei primi **anemometri** nel 1667 (Robert Hooke) che perfezionano l'**anemoscopio** di Leonardo da Vinci (1500)

Dalle prime reti di osservazione all'odierna WMO

- Nel 1665 grazie a Ferdinando de' Medici nasce la prima rete internazionale di osservazioni standardizzate con la stessa strumentazione (termometro, barometro, igrometro, anemoscopio)
- Le prime stazioni erano: Firenze, Vallombrosa, Cutigliano, Bologna, Parma, Milano, Parigi, Innsbruck, Osnabruck e Varsavia
- Tra XVII e XVIII secolo nascono reti osservative in diversi paesi europei e non solo grazie allo sviluppo dei traffici marittimi
- Nel XIX secolo dopo una violenta tempesta durante la guerra di Crimea (1854) l'astronomo Le Verrier riconosce il carattere mobile delle perturbazioni e l'importanza di una rete osservativa su scala europea: si afferma la **Meteorologia Sinottica**
- Nel 1860 24 stazioni connesse via telegrafo: inizia lo **scambio dati in tempo reale**
- Nel 1879 a Vienna è stabilita l'International Meteorological Organization (IMO), che nel 1951 diventerà l'odierna **World Meteorological Organization (WMO)**, un'agenzia ONU cui afferiscono 189 Stati membri

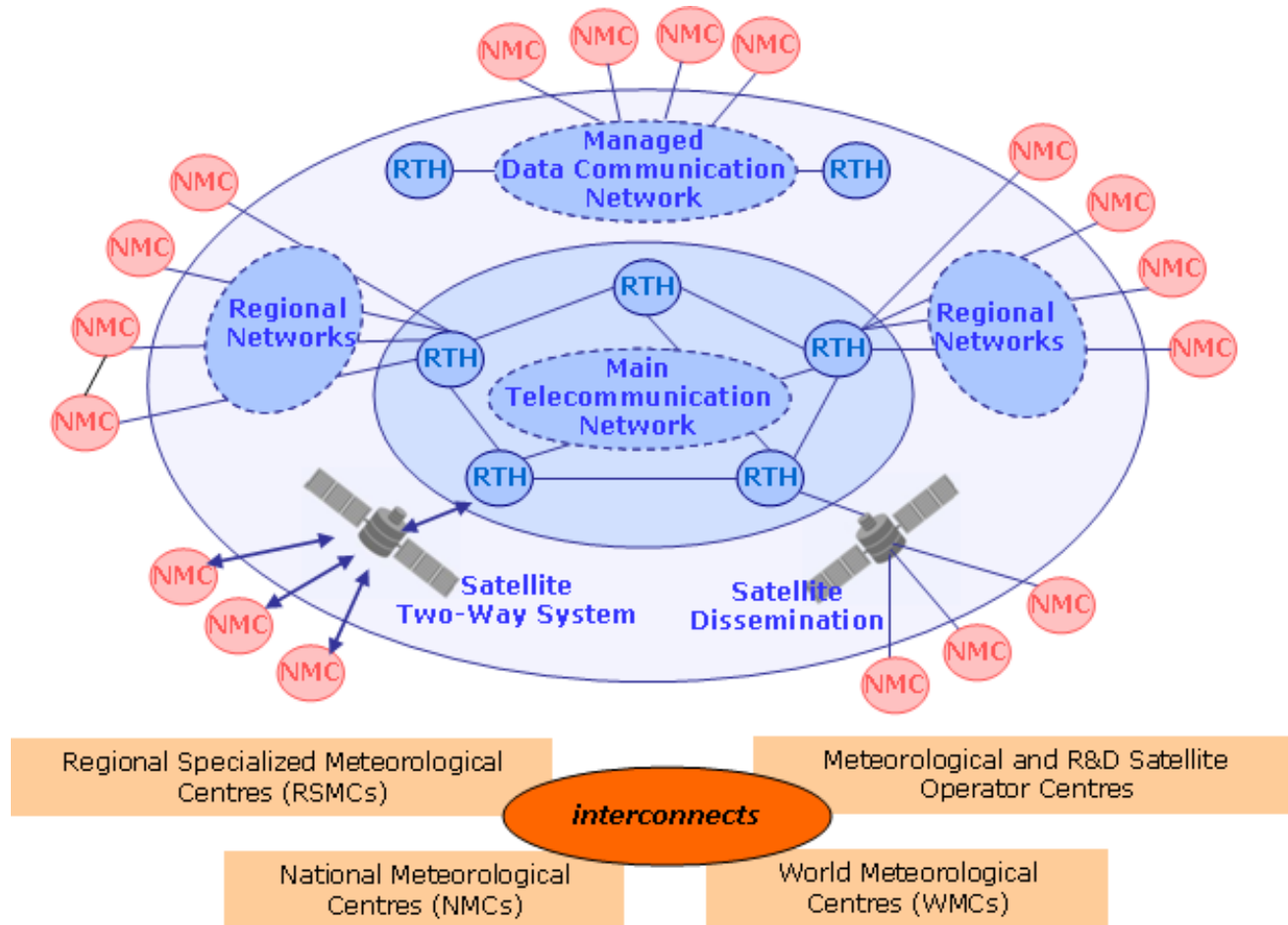
La rete osservativa oggi



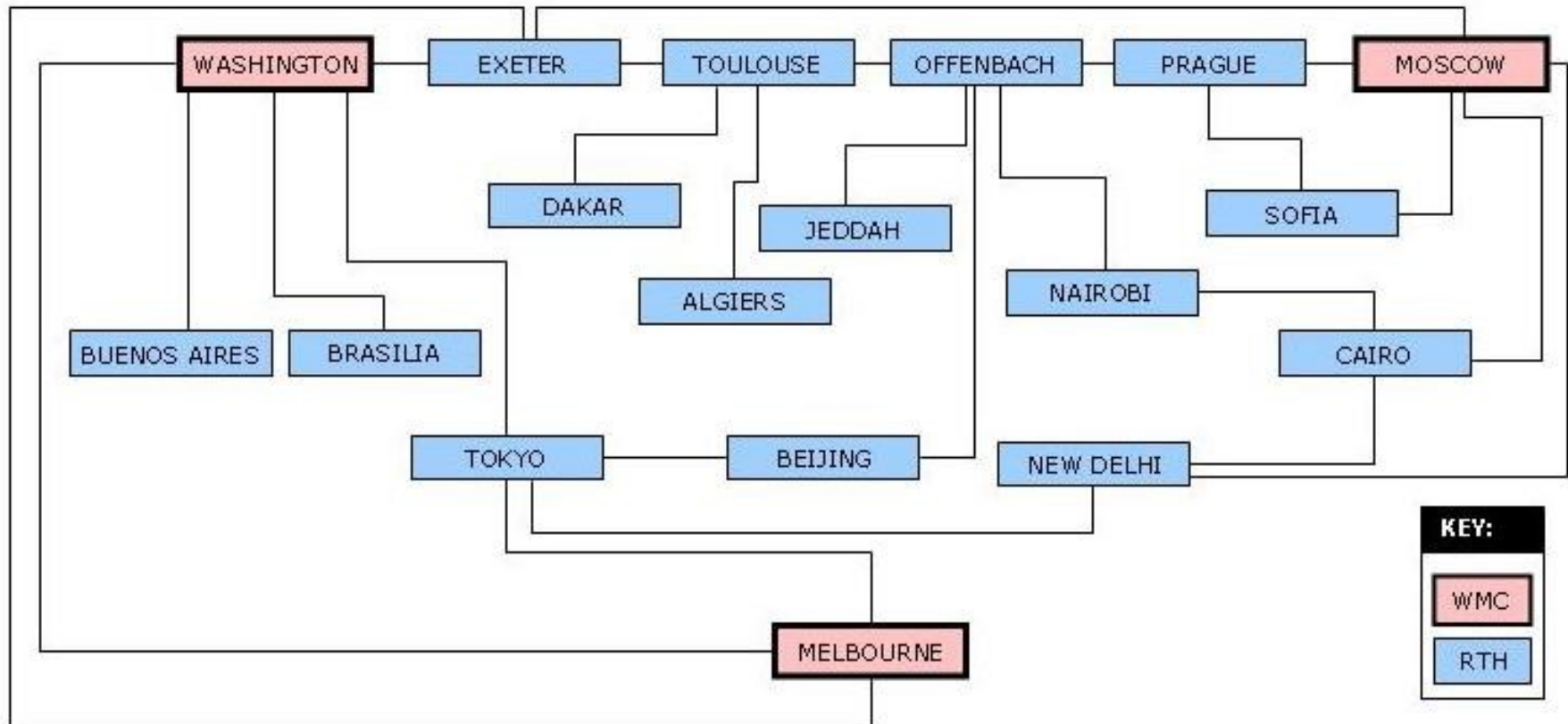
Global Telecommunication Systems - GTS

- A global private network for the transmission of meteorological data from weather stations, satellites and numerical weather prediction centres.
- WMO (World Meteorological Organization) definition: « The coordinated global system of telecommunication facilities and arrangements for the rapid collection, exchange and distribution of observations and processed information within the framework of the World Weather Watch»
- Functions:
 - Collect data observations
 - Raw data distribution to National Meteorological Centres (NMC), Regional Specialized Meteorological Centres (RSMC) and World Meteorological Centres (WMC)
 - Transmit the information/products developed from these raw data to others NMC, RSMC and WMC

Global Telecommunication Systems - GTS



Global Telecommunication Systems - GTS



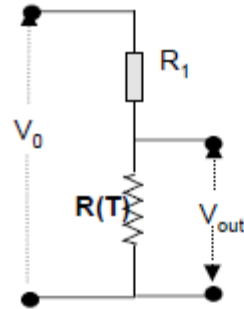
La tipica stazione meteorologica

- Configurazione tipica (a norma WMO): sensore di temperatura schermato e ventilato, a 1.5 m sul livello del terreno, distanza di almeno 100 m dai principali ostacoli (alberi, edifici, ...)
- Misure di vento all'altezza standard di 10 m slt
- Problema fondamentale nella scelta del sito: rappresentatività del dato (ostacoli, orografia, vento, neve...)
- Necessità di calibrazione (sensibilità dello strumento, errore di misura, tempo di risposta...)

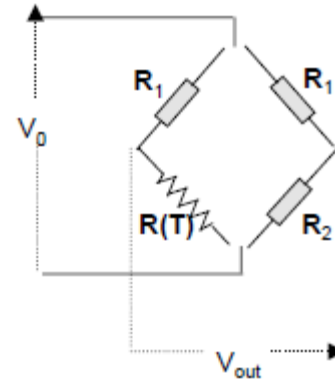


Sensori di temperatura

Mezzo Ponte
(Partitore Resistivo)



Ponte di
Wheatstone

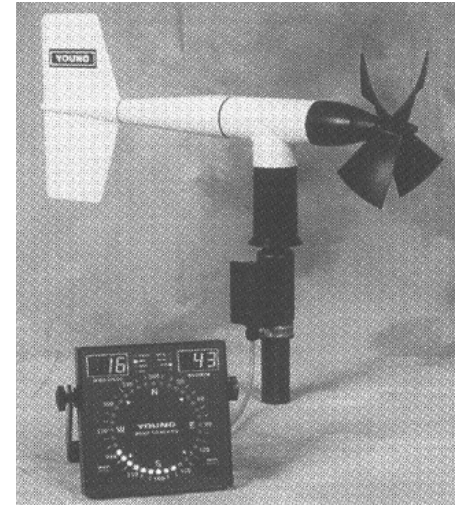
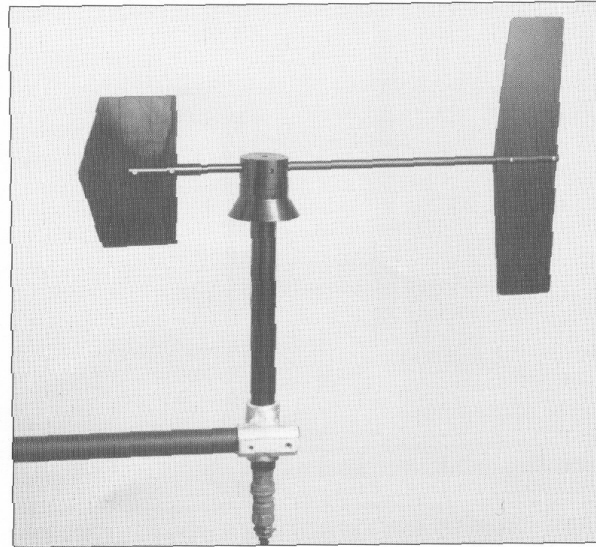
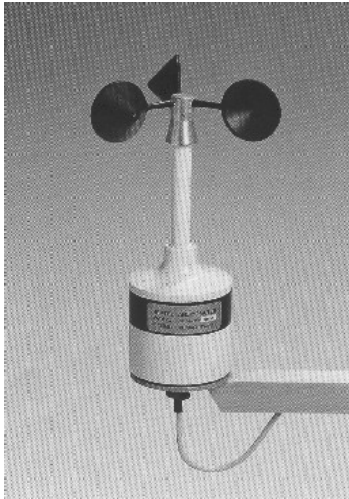


- I sensori più usati sono termoresistenze. L'elemento sensibile è una piccola porzione di metallo che varia la sua resistenza in funzione della temperatura:

$$R(T) = R_{T=0^{\circ}\text{C}} \left[1 + \alpha T + \beta T^2 \right]$$

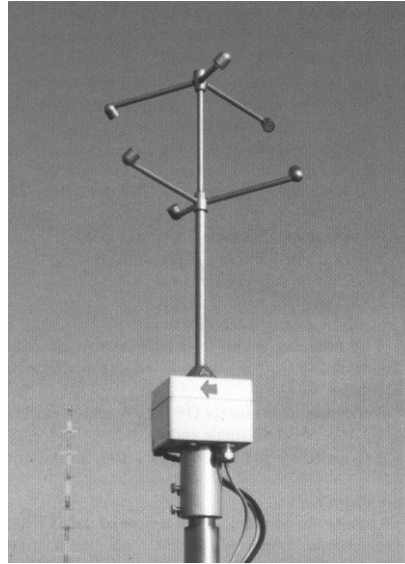
- Normalmente i sensori utilizzati nelle stazioni automatiche sono costituiti da resistenze di platino che a 0°C presentano una resistenza elettrica di 100Ω . In questo caso essi vengono denominati **Pt100**

Anemometri meccanici



- La rotazione dell'equipaggio mobile è convertita in un segnale elettrico continuo (segnale analogico)
- Il segnale analogico viene inviato in un datalogger che lo campiona e lo trasforma in un segnale digitale

Anemometri sonici



- Misurando i tempi di percorrenza di impulsi sonori tra i bracci si ottengono le tre componenti del vento
- Dalla velocità del suono (che dipende da pressione e temperatura) si ottiene la «temperatura sonora» (prossima a quella virtuale)
- Possibilità di misure ad altissima frequenza (10-40 Hz) e precisione (0.01 m/s): strumento ideale per lo studio della turbolenza

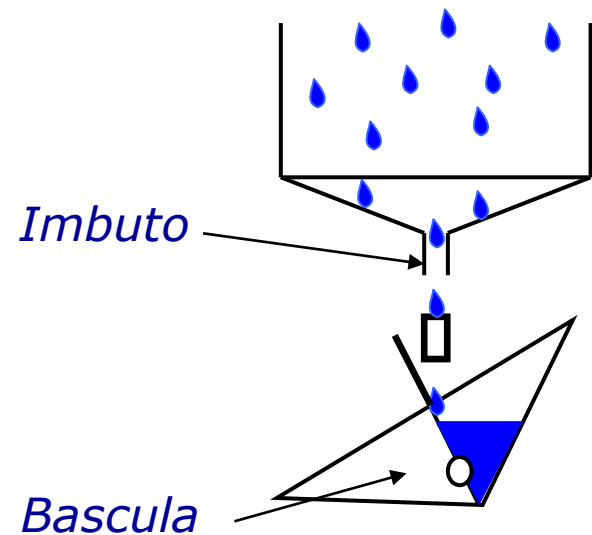
Pluviometro a bascula



La bascula riempiendosi e svuotandosi oscilla tra due posizioni di equilibrio.

Un sistema magneto-elettrico emette un impulso di tensione che il sistema di acquisizione è in grado di registrare.

Misura la pioggia contenuta in un volume prefissato



Sensori di umidità e pressione

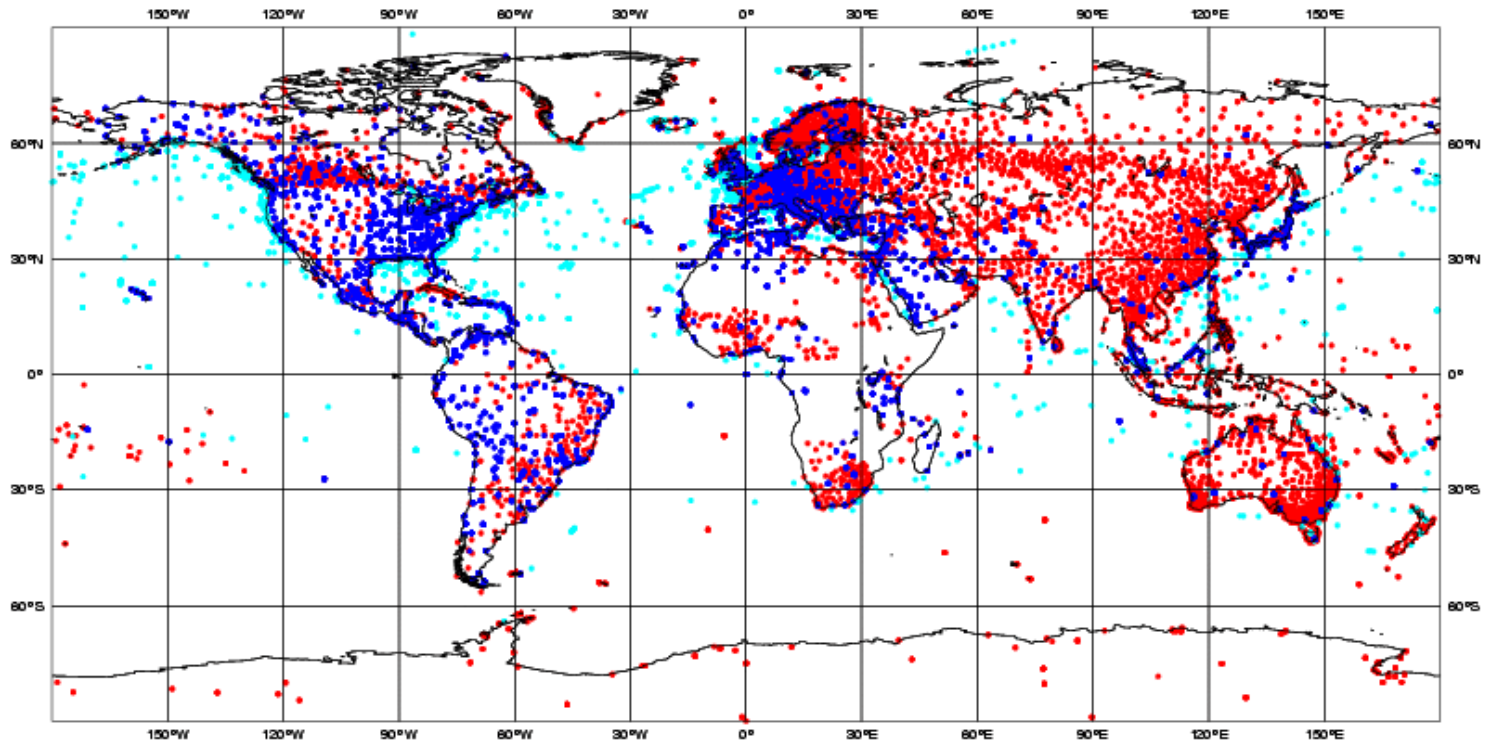
- L'**igrometro** è un sensore che misura l'umidità relativa: in genere l'elemento sensibile è un condensatore con un dielettrico che varia la propria caratteristica in funzione dell'umidità dell'aria. Un opportuno circuito elettrico trasforma la variazione di capacità del condensatore in una tensione, facilmente misurabile
- Il **barometro** è il sensore che misura la pressione atmosferica. L'elemento sensibile più impiegato è costituito da una cella che si deforma in funzione della pressione atmosferica. Dalla deformazione meccanica convertita in segnale elettrico si ottiene il valore della pressione

Osservazioni Sinottiche - SYNOP

Obs Type

● 17070 SYNOP ● 2438 SHIP ● 10114 METAR

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - SYNOP/SHIP
12/MAY/2009; 00 UTC
Total number of obs = 29622



Messaggio SYNOP codificato

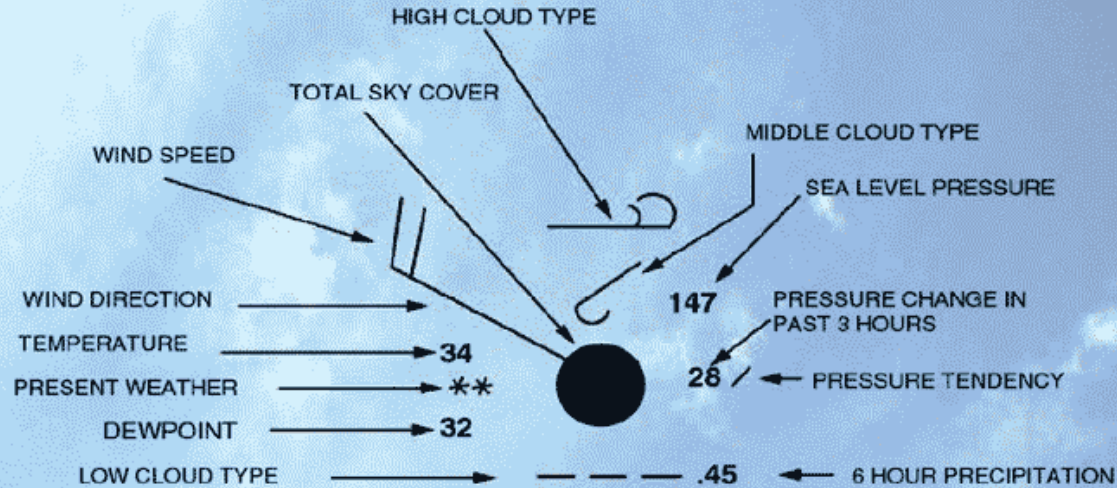
AAXX 30124

07149 11475 72316 10122 20096 39933 40040

58011 69921 70165 875// 333 10045 20024=

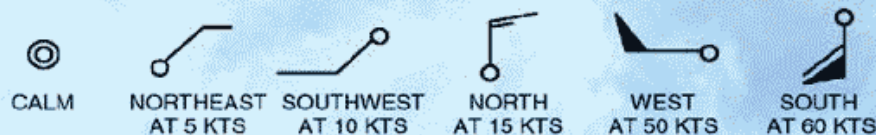
- Formato standard per la trasmissione di osservazioni SYNOP (cadenza oraria o trioraria a seconda della stazione)
- Informazioni univoche su stazione, data e ora, grandezze atmosferiche di interesse (temperatura, vento, pressione, umidità, visibilità, fenomeni in atto, precipitazioni)
- Possibilità di decodifica tramite software specifici
- Per ulteriori informazioni:
<http://weather.unisys.com/wxp/Appendices/Formats/SYNOP.html>

Esempio di dato SYNOP



1. Total sky cover: OVERCAST
2. Temperature: 34 DEGREES F, Dewpoint: 32 DEGREES F.
3. Wind: FROM THE NORTHWEST AT 20 KNOTS (relative to True North).

Examples of wind direction and speed



4. Present weather: CONTINUOUS LIGHT SNOW
5. Predominant low, middle, high cloud reported: STRATO FRACTUS OR CUMULUS FRACTUS OF BAD WEATHER, ALTOCUMULUS IN PATCHES, AND DENSE CIRRUS
6. Sea level pressure: 1014.7 MILLIBARS (mbs).
NOTE: Pressure is always shown in 3 digits to the nearest tenth of a millibar. For 1000 mbs or greater, prefix a "10" to the 3 digits. For less than 1000 mbs, prefix a "9" to the 3 digits.
7. Pressure change in past 3 hours: INCREASED STEADILY OR UNSTEADILY BY 2.8 mbs. The actual change is in tenths of a millibar.
8. 6-hour precipitation: 45 HUNDREDTH OF AN INCH. The amount is given to the nearest hundredth of an inch.

METAR

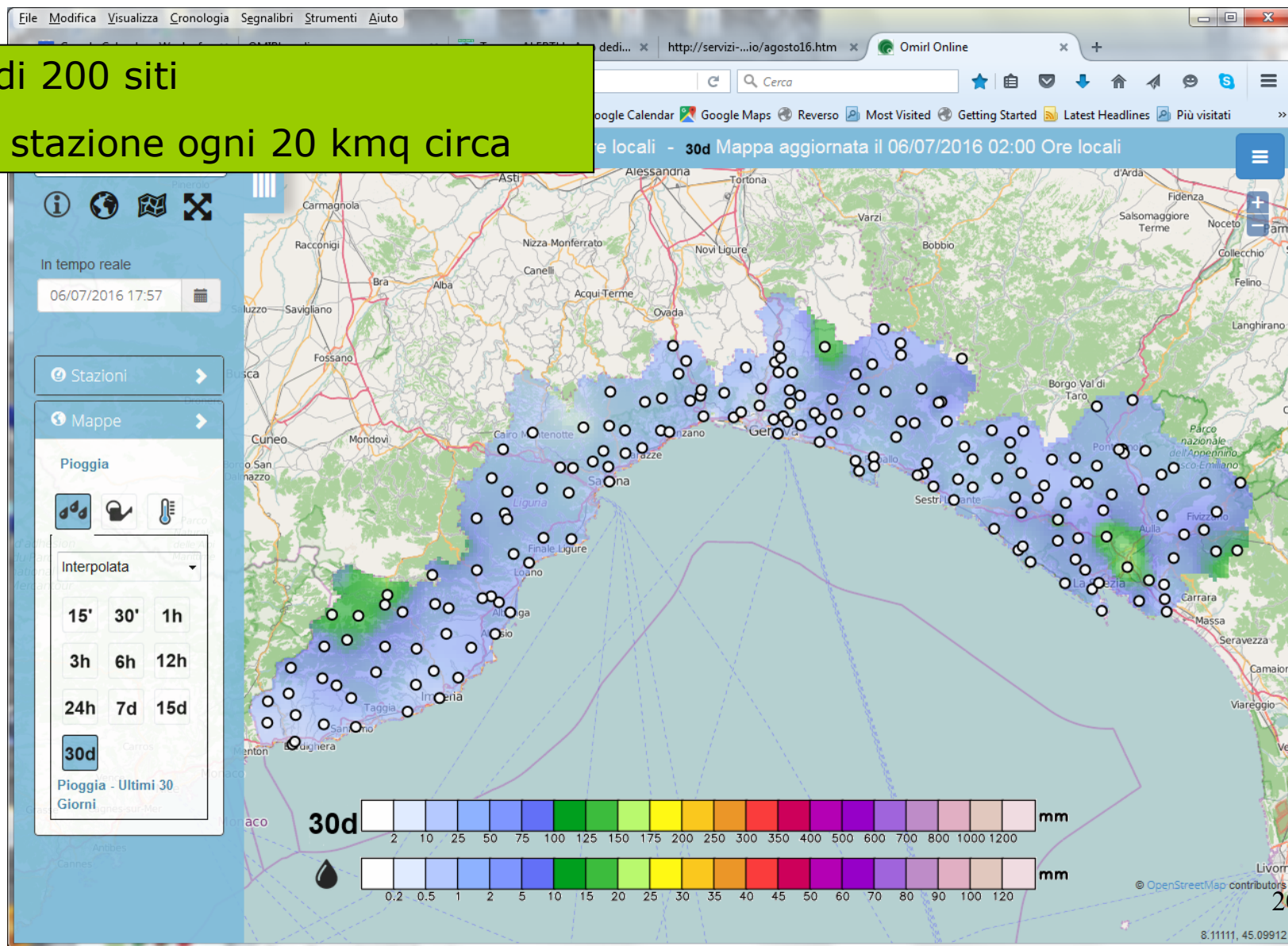
LIMF 311156Z 12015G22KT 5000 SCT350
OVC420 08/M02 A2999 RMK A02 SLP136
T00781018 P0012=

- METAR (METeorological Aerodrome Report) è il codice standard internazionale per osservazioni meteorologiche in ambito aeronautico
- Misure con frequenza oraria, semioraria o in caso di variazioni significative
- Informazioni su vento, visibilità, fenomeni in atto, nuvolosità, temperatura, temperatura di rugiada e pressione al livello del mare
- Numerosi software per decodifica automatica
- Per ulteriori informazioni: <http://meteocentre.com/doc/metar.html>

La rete di monitoraggio regionale OMIRL

Più di 200 siti

Una stazione ogni 20 kmq circa



Sensori

- temperatura aria
- umidità relativa
- precipitazione
- livello idrometrico
- vento
- pressione
- radiazione
- agronomici



La trasmissione dei dati in tempo reale



Centralina



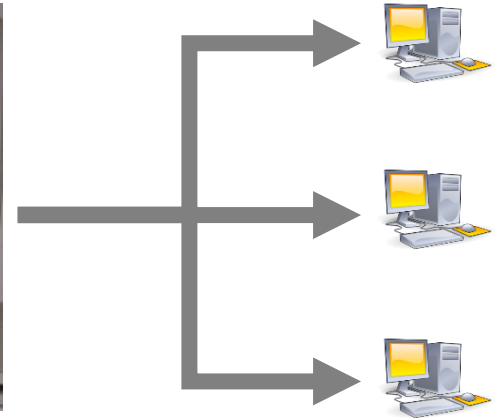
Trasmissione
via **GPRS**
ogni 5/15 min



Trasmissione
via **radio**
ogni 30 min

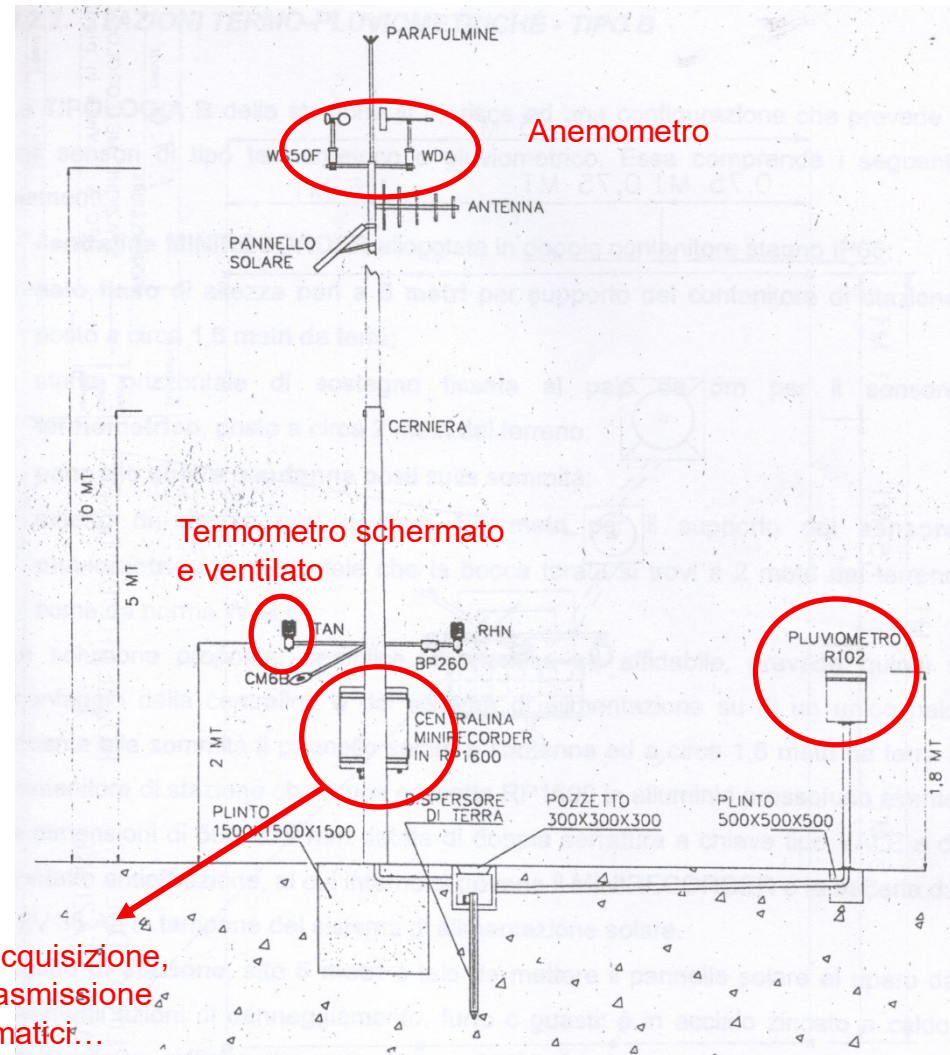


Accentratore e
DB regionali



Dati
disponibili su
sito web

Stazione meteo completa

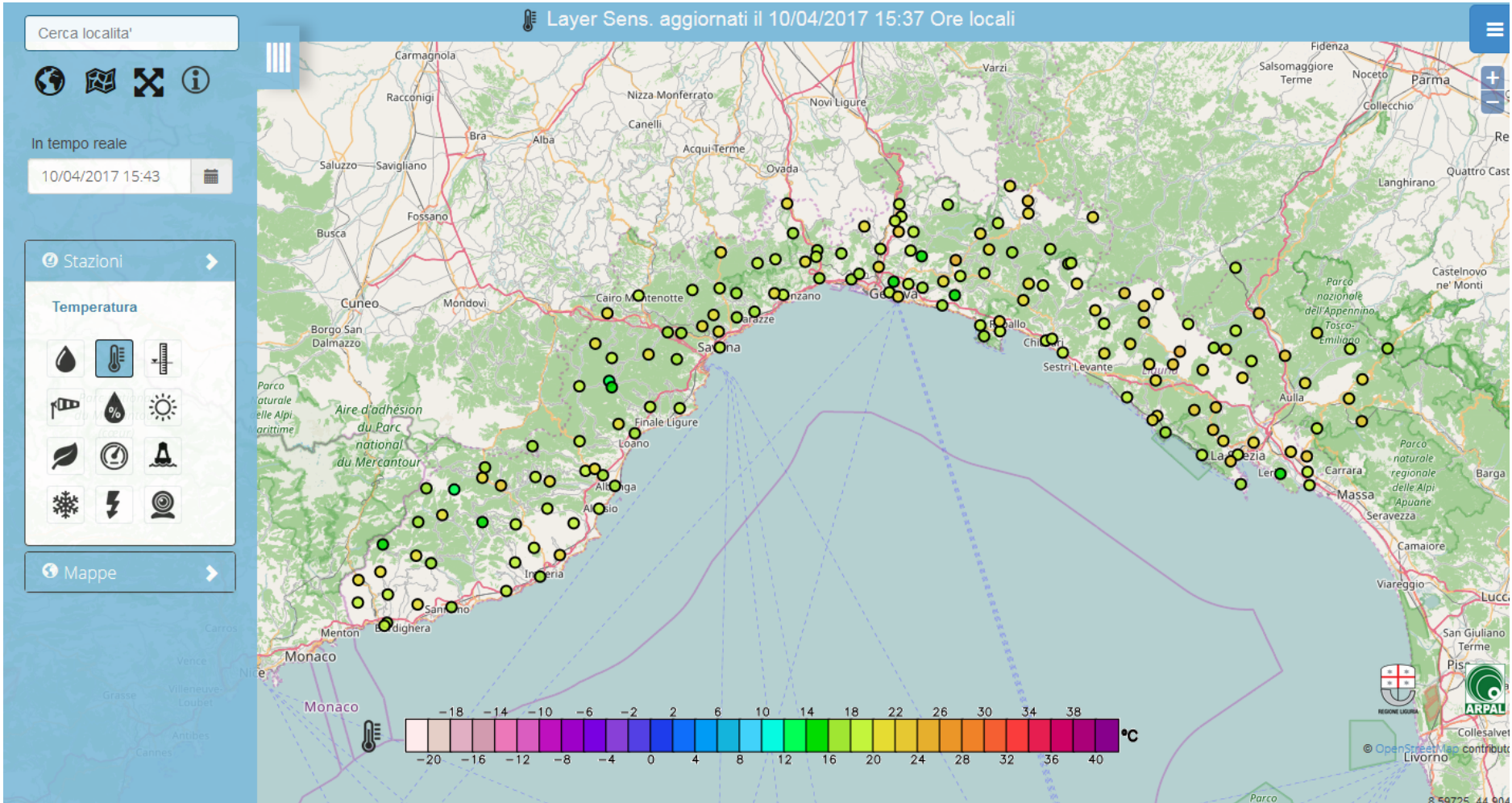


Data logger per acquisizione, elaborazione e trasmissione dati, allarmi automatici...

Tutti i dati della rete sono disponibili su:

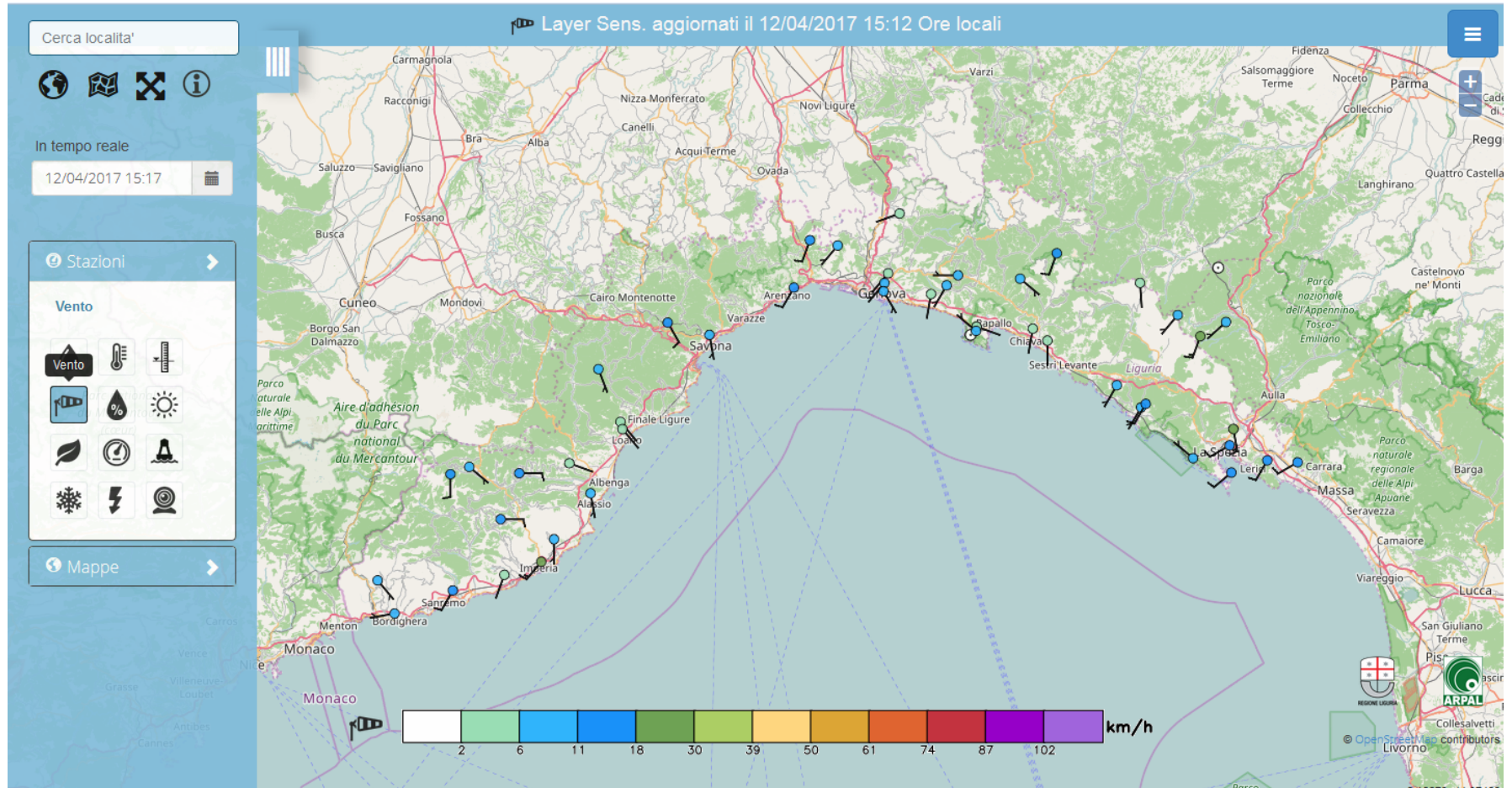
www.meteoliguria.it

<http://omirl.regione.liguria.it/Omirl>



Tutti i dati della rete sono disponibili su:

www.meteoliguria.it
<http://omirl.regione.liguria.it/Omirl>



Radiosondaggi



Si usa un **pallone aerostatico**, che è in grado di raggiungere i 30.000 metri di altezza (3 volte la quota di volo di un aereo di linea), al quale vengono attaccati strumenti in grado di misurare **pressione, temperatura e umidità** dell'aria.

Grazie ad un emettitore radio si può seguire lo spostamento del pallone rispetto al punto di lancio e calcolare quindi anche direzione ed intensità del **vento** alle varie quote.

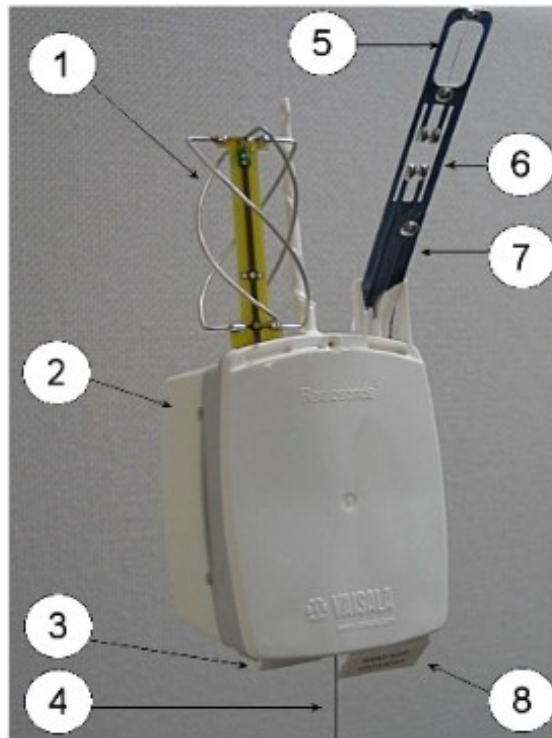
Si ottiene quindi **un profilo verticale dell'atmosfera** per pressione, temperatura, umidità e vento.

Radiosondaggi



Procedure di lancio

Vaisala RS92-SGP Unit



- 1 = GPS Antenna
- 2 = Battery Case
- 3 = Additional Sensor Interface
- 4 = Antenna
- 5 = Temperature Sensor
- 6 = Humidity Sensor
- 7 = Sensor Boom
- 8 = GC25 Interface

Vaisala RS92-SGP Unit

- Velocità nominale di salita: 4.4 m/s (ogni secondo la sonda fornisce un dato)
- La troposfera è campionata in circa 45 minuti (oltre 2500 livelli misurati)
- Il vento può trasportare la sonda per decine di km dal luogo di partenza
- Tutti i dati ottenuti sono forniti nel formato WMO TEMP
- Nella sezione TEMP A (TTAA) sono contenuti 12 livelli standard “obbligatori”, nella sezione TEMP B (TTBB) 50 livelli “significativi” in cui temperatura e umidità variano di una quantità prestabilita

16044 LIPD Udine Observations at 12Z 04 Jul 2015

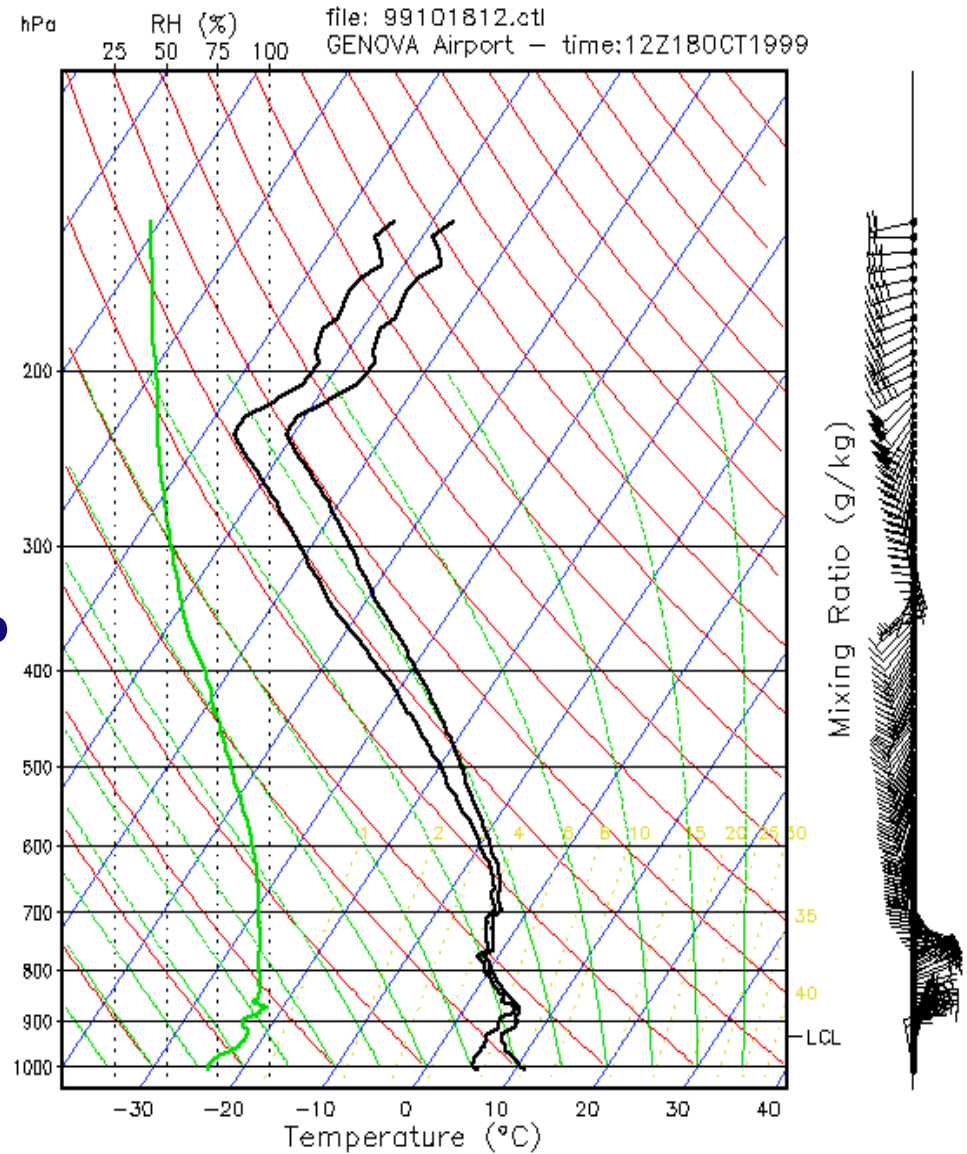
PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1011.0	94	31.0	17.0	43	12.20	180	7	303.2	339.7	305.4
1005.0	147	28.6	15.6	45	11.21	175	8	301.3	334.6	303.4
1000.0	191	28.2	16.2	48	11.71	170	8	301.4	336.1	303.5
925.0	876	21.6	15.6	69	12.19	165	8	301.4	337.5	303.6
868.0	1425	17.2	12.3	73	10.46	297	3	302.3	333.6	304.2
865.0	1454	17.6	11.6	68	10.01	304	2	303.1	333.1	304.9
850.0	1604	16.8	9.8	63	9.02	340	1	303.7	331.0	305.4
837.0	1735	16.2	8.2	59	8.21	344	3	304.4	329.4	305.9
809.0	2025	17.2	2.2	37	5.57	352	7	308.5	326.0	309.5
781.0	2323	15.2	-0.2	35	4.84	0	12	309.4	324.8	310.3
744.0	2734	12.4	-3.6	33	3.96	4	16	310.7	323.5	311.5
700.0	3241	8.6	-15.4	17	1.66	10	22	312.0	317.6	312.3
681.0	3463	6.8	-17.6	16	1.42	10	24	312.5	317.4	312.8
659.0	3728	4.8	-20.1	14	1.18	15	22	313.1	317.2	313.3
624.0	4168	1.3	-24.4	13	0.85	0	14	314.1	317.1	314.2
595.0	4552	-1.7	-28.1	11	0.64	15	18	314.9	317.1	315.0
573.0	4856	-4.1	-31.1	10	0.50	3	20	315.4	317.3	315.6
558.0	5064	-4.9	-40.5	4	0.20	355	22	316.9	317.7	316.9
547.0	5220	-5.5	-47.6	2	0.10	10	23	318.0	318.4	318.0
537.0	5365	-6.1	-54.1	1	0.05	7	22	319.0	319.2	319.0
509.0	5781	-8.5	-55.8	1	0.04	0	20	321.0	321.1	321.0
500.0	5920	-9.3	-56.3	1	0.04	5	19	321.6	321.8	321.6
498.0	5951	-9.3	-53.3	1	0.05	7	19	322.0	322.2	322.0
485.0	6152	-11.1	-50.2	2	0.08	20	19	322.2	322.6	322.3
432.0	7031	-18.9	-36.9	19	0.38	1	22	323.1	324.6	323.2
418.0	7275	-20.8	-33.0	33	0.57	355	23	323.8	325.9	323.9
406.0	7491	-22.5	-29.5	53	0.82	358	22	324.3	327.3	324.4
400.0	7600	-23.1	-32.1	44	0.65	0	21	324.9	327.3	325.0
397.0	7655	-23.5	-38.5	24	0.35	0	21	325.1	326.4	325.1
384.0	7897	-25.3	-40.3	23	0.30	0	21	325.8	327.0	325.9
333.0	8909	-33.9	-42.9	40	0.26	0	21	327.6	328.6	327.6
326.0	9057	-34.9	-47.9	25	0.15	0	21	328.2	328.8	328.2
317.0	9251	-36.3	-43.3	48	0.26	0	21	328.9	329.9	328.9
308.0	9450	-37.5	-53.5	17	0.09	0	21	329.9	330.3	329.9
300.0	9630	-38.9	-53.9	19	0.08	0	21	330.4	330.8	330.4
293.0	9792	-40.3	-58.3	13	0.05	2	23	330.7	330.9	330.7
281.0	10077	-42.5	-67.5	5	0.02	5	26	331.5	331.6	331.5
280.0	10101	-42.7	-67.2	5	0.02	5	26	331.6	331.6	331.6
252.0	10807	-48.3	-59.3	27	0.05	10	14	333.4	333.6	333.4
250.0	10860	-48.7	-58.7	30	0.06	10	14	333.5	333.8	333.5
247.0	10939	-49.1	-59.1	30	0.05	7	14	334.1	334.3	334.1
227.0	11486	-52.9	-66.9	17	0.02	343	12	336.4	336.5	336.4
217.0	11774	-55.5	-63.5	36	0.03	330	11	336.8	336.9	336.8

Radiosondaggi

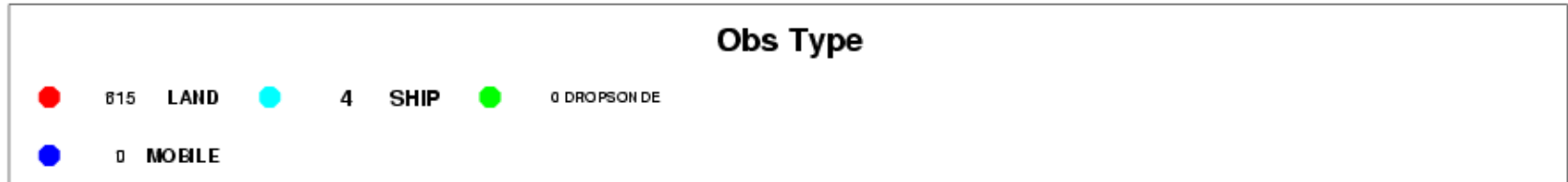
Forniscono informazioni termodinamiche sulla struttura verticale dell'atmosfera in un dato luogo;

... si usano solitamente per:

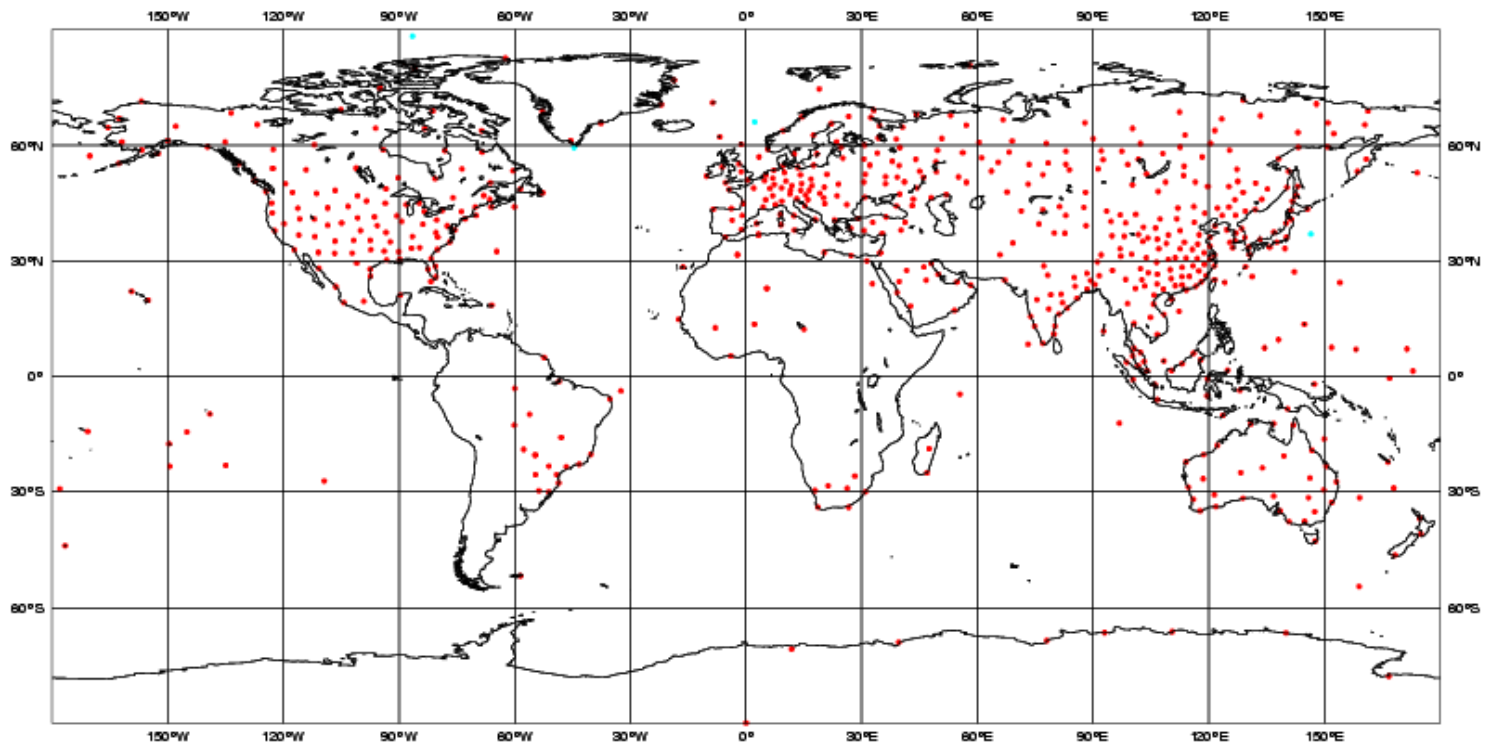
- analizzare la stabilità del profilo atmosferico;
- previsioni di nowcasting;
- assimilazione dati
- verifica dei modelli.



Osservazioni in quota tramite radiosondaggi



ECMWF Data Coverage (All obs DA) - TEMP
12/MAY/2009; 00 UTC
Total number of obs = 619



Le misure da aereo

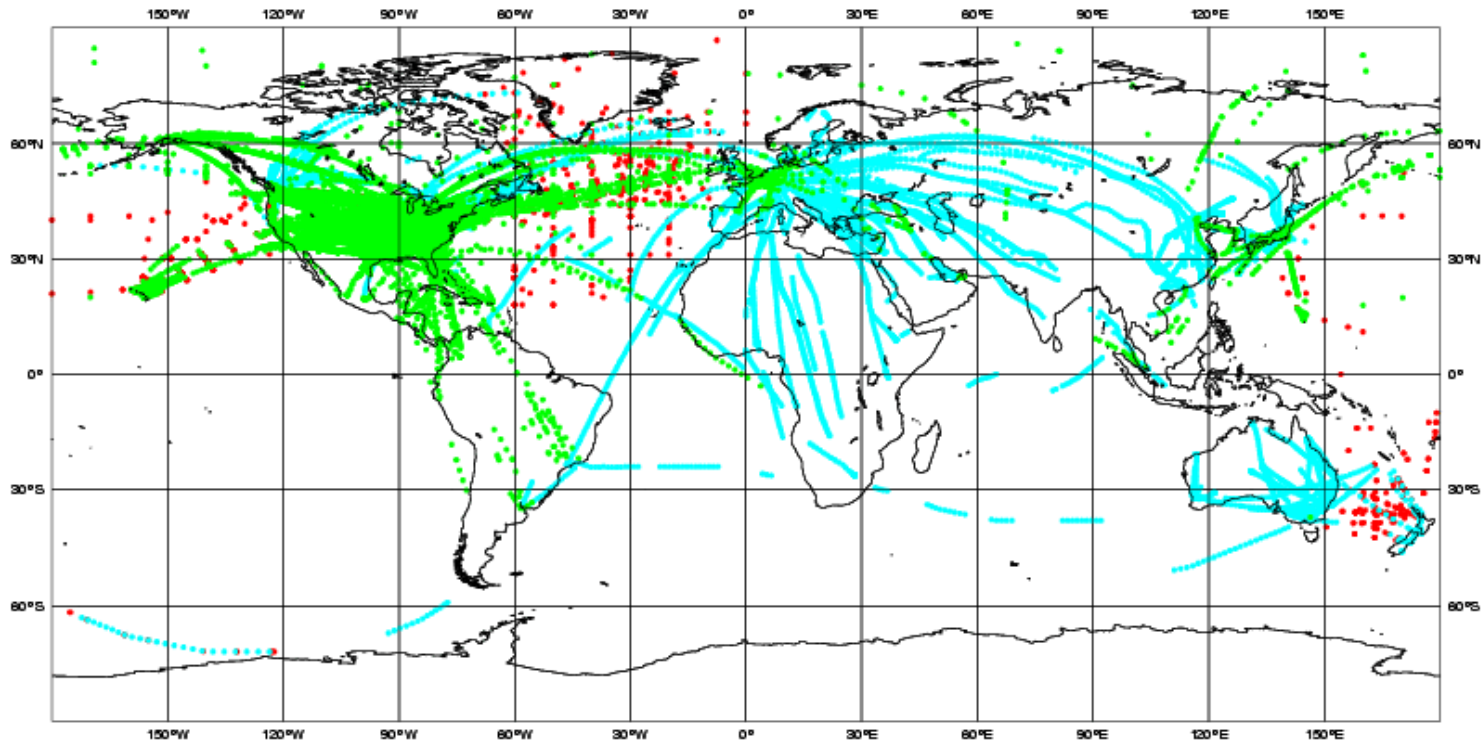
Obs Type

● 6824 AIREP ● 19880 AMDAR ● 30115 ACARS

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - AIRCRAFT

12/MAY/2009; 00 UTC

Total number of obs = 56799



Telerilevamento - Remote Sensing

DEFINIZIONE

- In generale, telerilevamento indica l'attività di misura/osservazione di oggetti ed eventi a distanza anche molto grande
- In ambito ambientale il telerilevamento è la scienza che si occupa di acquisire informazioni sulla superficie terrestre o l'atmosfera senza essere in contatto con esse. Ciò è possibile tipicamente misurando e analizzando l'energia riflessa o emessa dal bersaglio che si vuole studiare

• Sensori passivi

- Fotografia aerea
- Radiometri

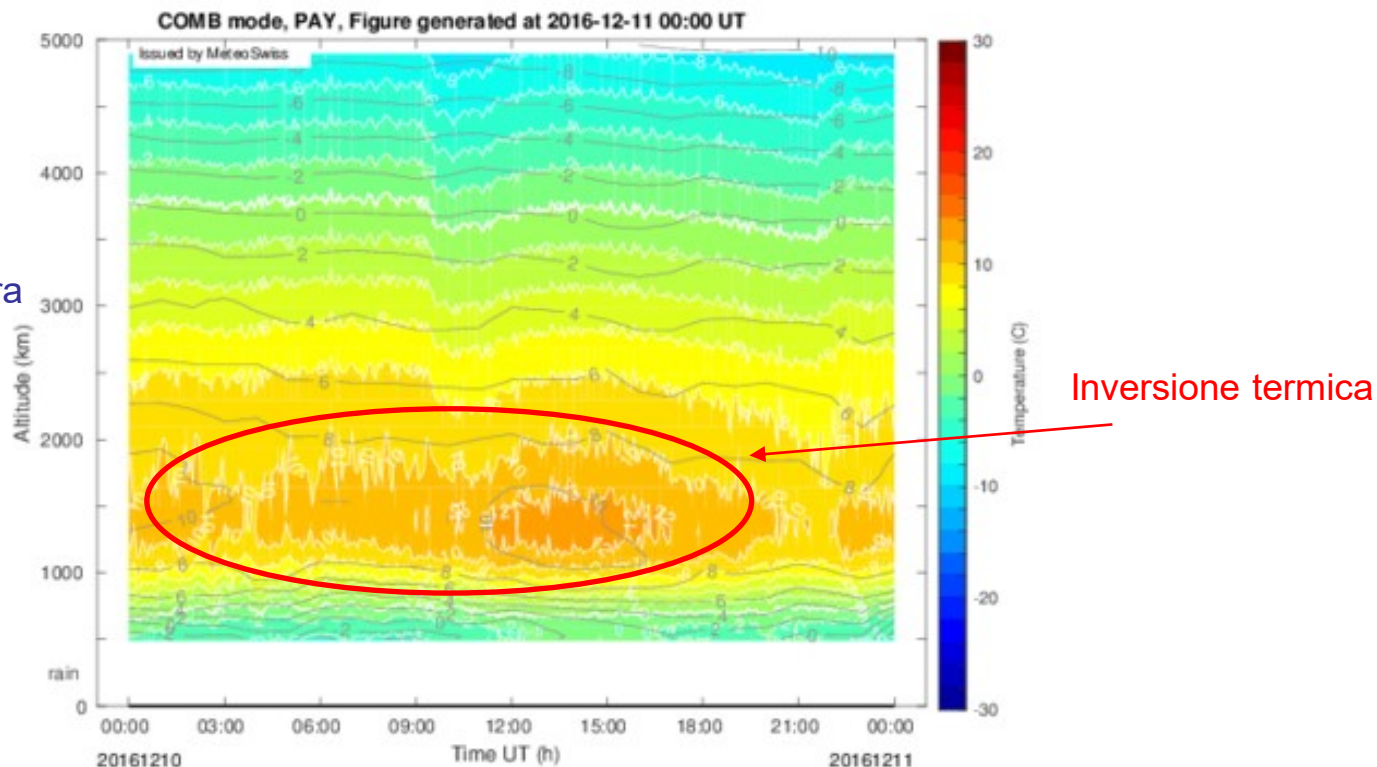
• Sensori attivi

- Radar *microonde*
- Wind Profiler *microonde*
- Lidar *laser*
- Sodar *onde acustiche*

Radiometri per profili di temperatura e umidità

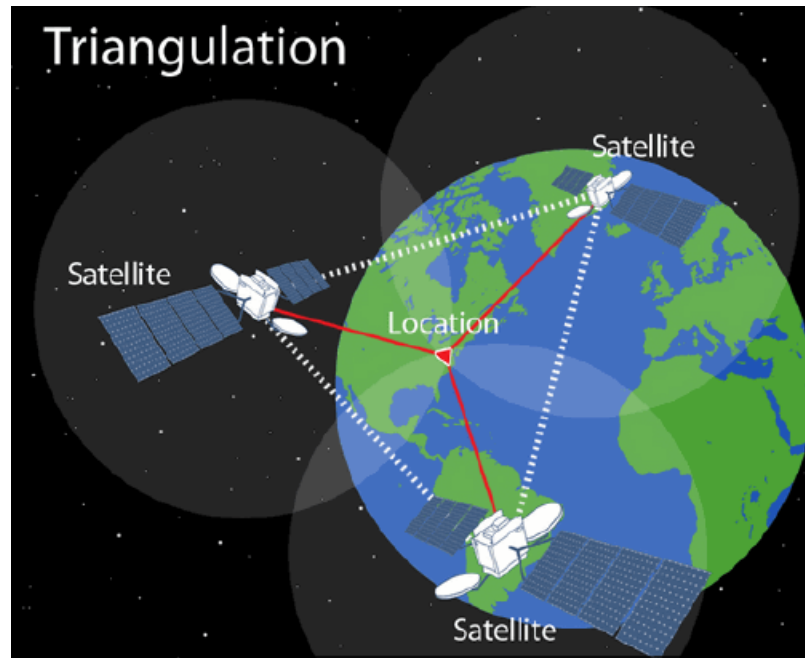
Profilo verticale di temperatura
in funzione del tempo

Fonte: Meteosvizzera



- Stima dei profili verticali di temperatura e umidità fino a circa 5000 m, alta risoluzione temporale (10 min), risoluzione verticale media di 500 m
- Lo strumento si basa sulla misura della radiazione nelle microonde emessa dalle molecole presenti in atmosfera a diverse frequenze

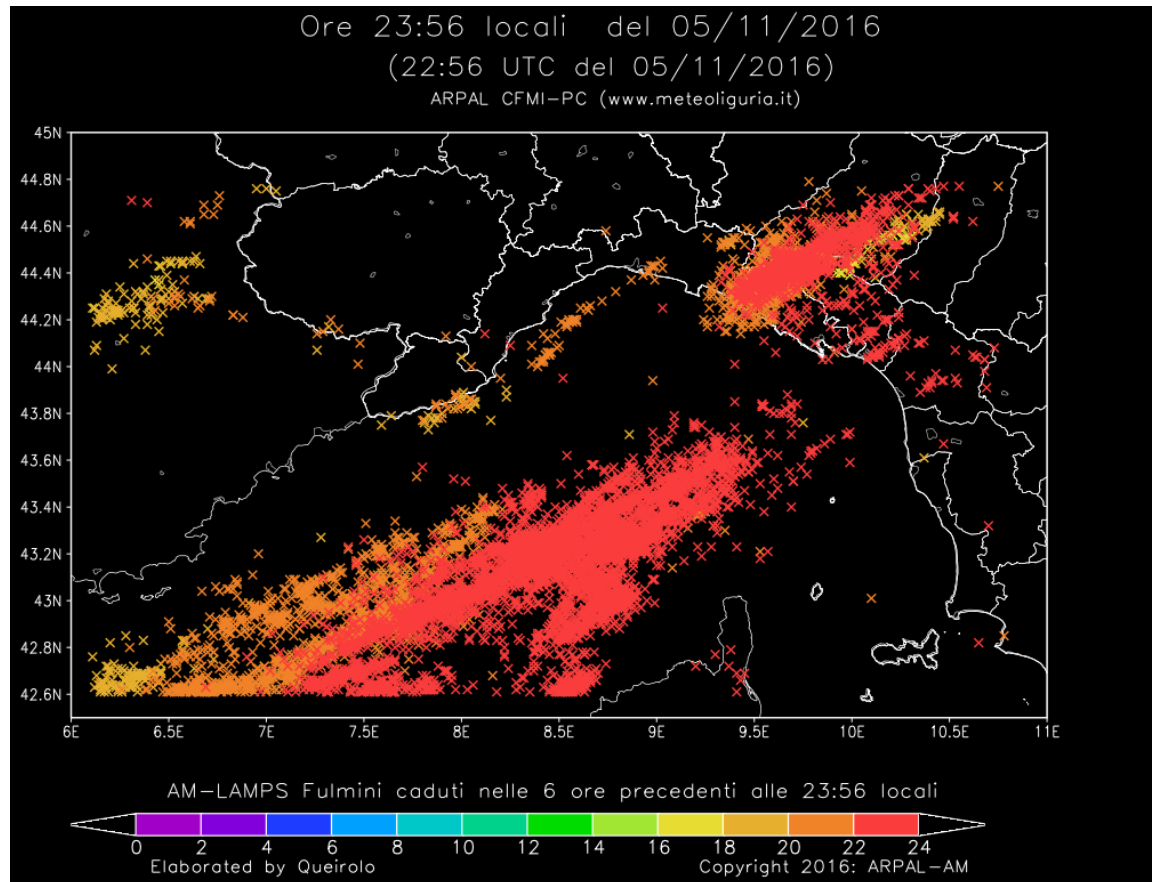
GPS e meteorologia



- GPS (Global Positioning System): sistema di geolocalizzazione basato sullo scambio di informazioni tra la rispettiva rete di satelliti e i ricevitori sulla Terra.
- Deviazione (rifrazione) del segnale GPS dovuta all'atmosfera. Dal «ritardo troposferico» si può isolare il contributo dell'umidità e derivare l'acqua precipitabile, l'integrale dell'umidità contenuta nella colonna d'aria al di sopra del ricevitore.
- Informazione a basso costo e molto utile per i modelli meteorologici

Reti di rilevamento fulmini

- Alle scariche elettriche (Cloud to Ground e IntraCloud) è associata l'emissione di onde radio che possono essere rilevate da antenne a terra
- Misurando la differenza del tempo di arrivo nel segnale in diverse stazioni si può localizzare il fulmine e dal tipo di segnale distinguere CG e IC (più difficile)
- Esistono diverse reti di rilevamento fulmini, pubbliche e private, nazionali e internazionali
- Possibilità di rilevamento da satellite (ampia copertura spaziale!)
<https://youtu.be/Jcx7gv-LaKs>



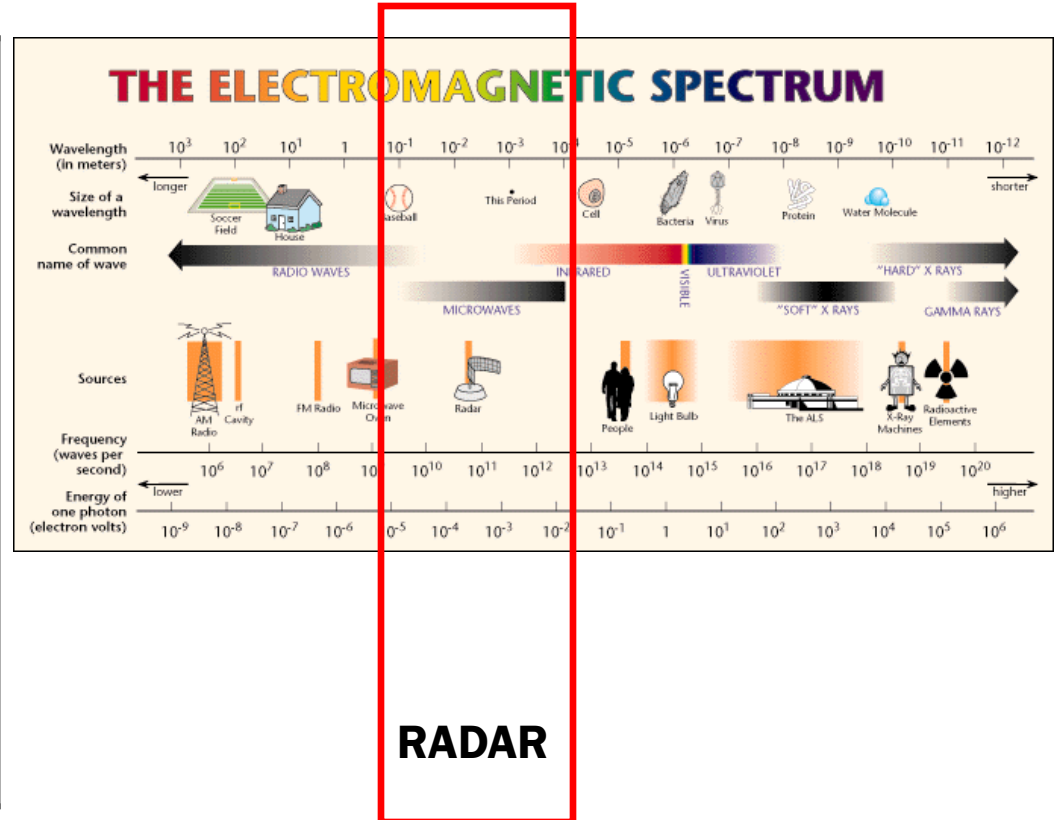
Il radar

- Il RADAR, ovvero **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging, è uno strumento di *remote sensing* per la rilevazione di oggetti in atmosfera
- Per i primi radar nati per scopi militari il segnale meteorologico era un disturbo...
- In estrema sintesi il radar:
 - trasmette un'onda elettromagnetica
 - riceve l'eco prodotto da un oggetto investito da tale onda
 - analizza tale eco ottenendo diverse informazioni riguardo l'oggetto investito, quali distanza, dimensioni, velocità di spostamento dell'oggetto rispetto al radar, etc.



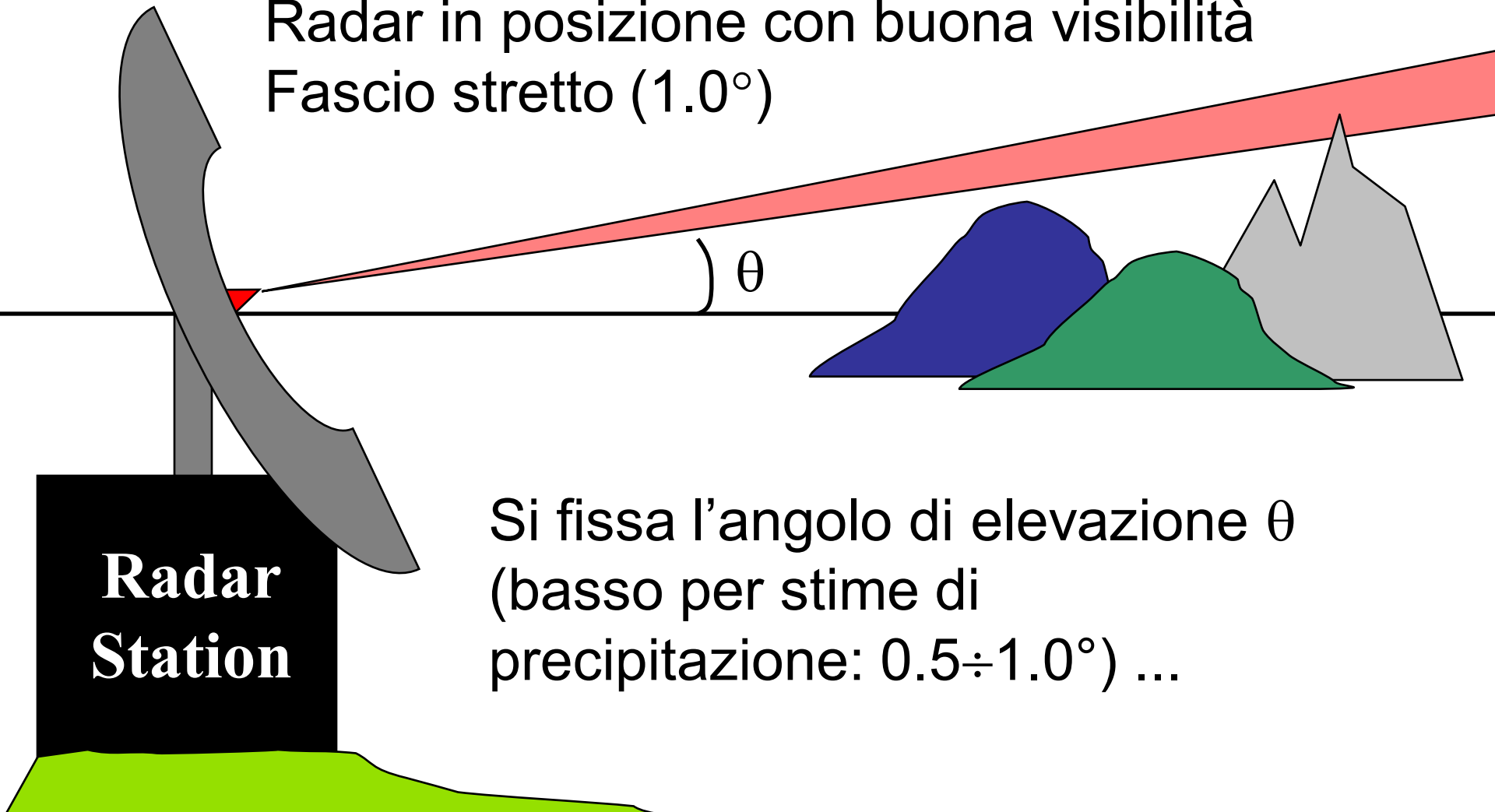
Lo spettro elettromagnetico

Banda L	1-2 GHz	30-15 cm
Banda S	2-4 GHz	15-8 cm
Banda C	4-8 GHz	8-4 cm
Banda X	8-12 GHz	4-2.5 cm
Banda K_u K K_a	12-40 GHz	2.5-0.75 cm



Come funziona ?

Radar in posizione con buona visibilità
Fascio stretto (1.0°)



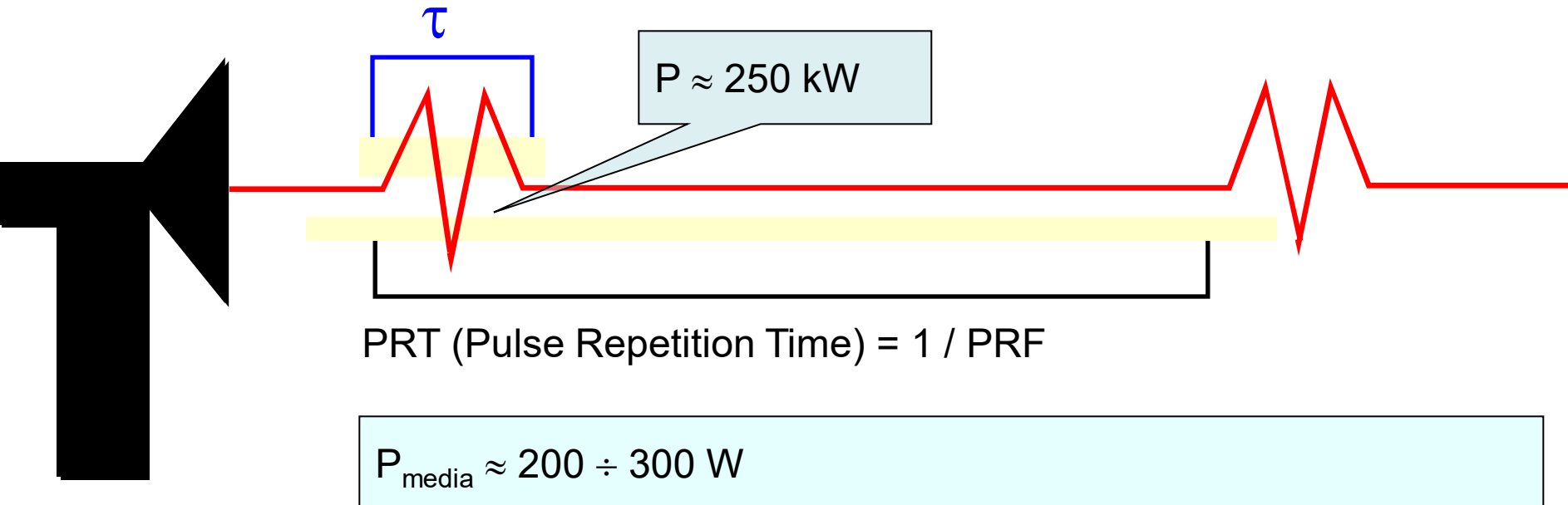
Si fissa l'angolo di elevazione θ
(basso per stime di precipitazione: $0.5 \div 1.0^\circ$) ...

Principi di funzionamento del radar meteorologico

- Le caratteristiche hardware - trasmettitore

τ è la durata del singolo impulso trasmesso

PRF è il numero di impulsi trasmessi in un secondo dal radar



Trasmissione e ricezione del segnale



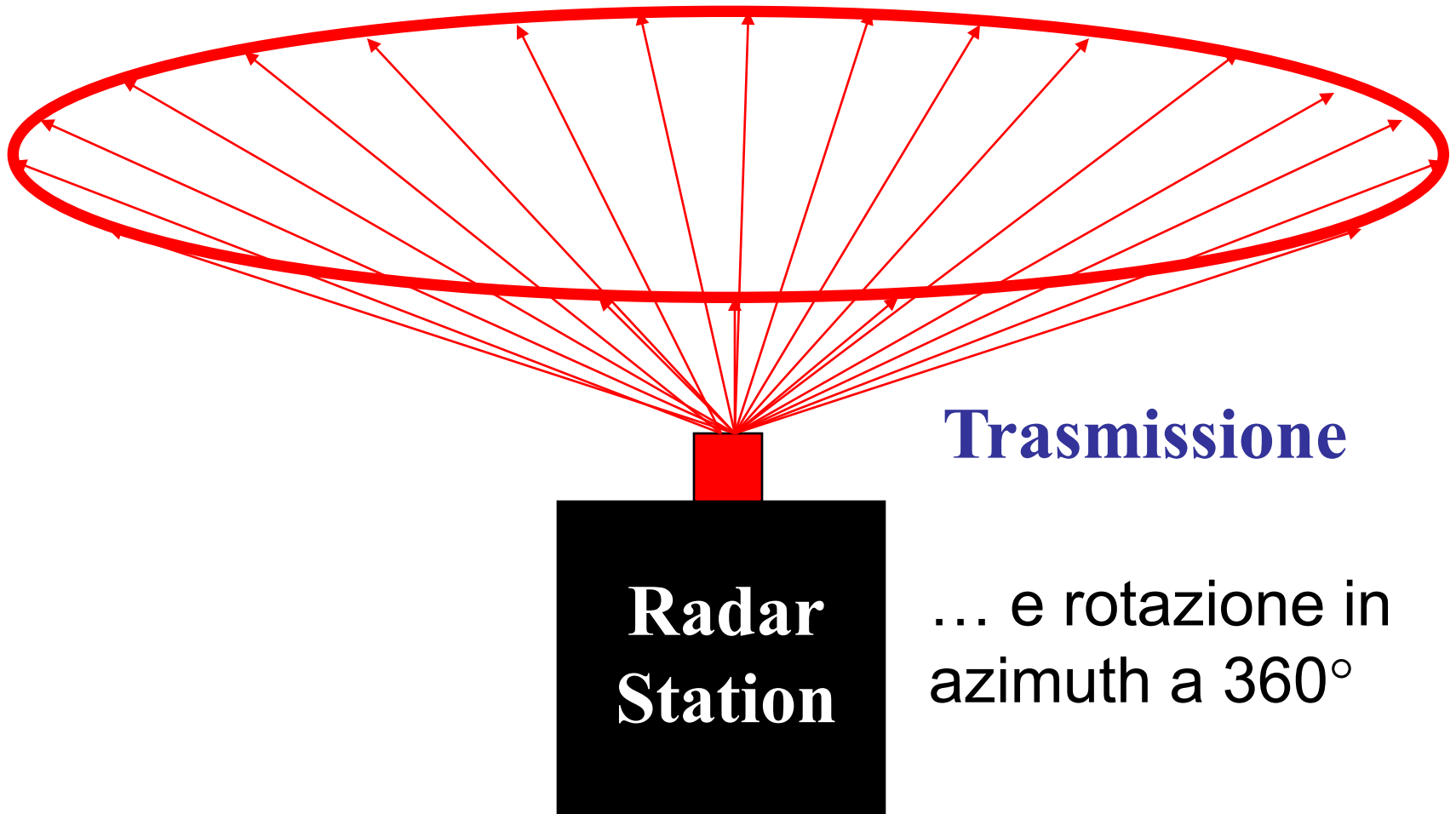
Segnale trasmesso

Radar
Station

Segnale retrodiffuso

- Intensità proporzionale alla quantità d'acqua presente nella nube
- ritardo → distanza

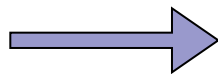
La scansione



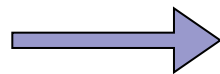
Trasmissione

... e rotazione in
azimuth a 360°

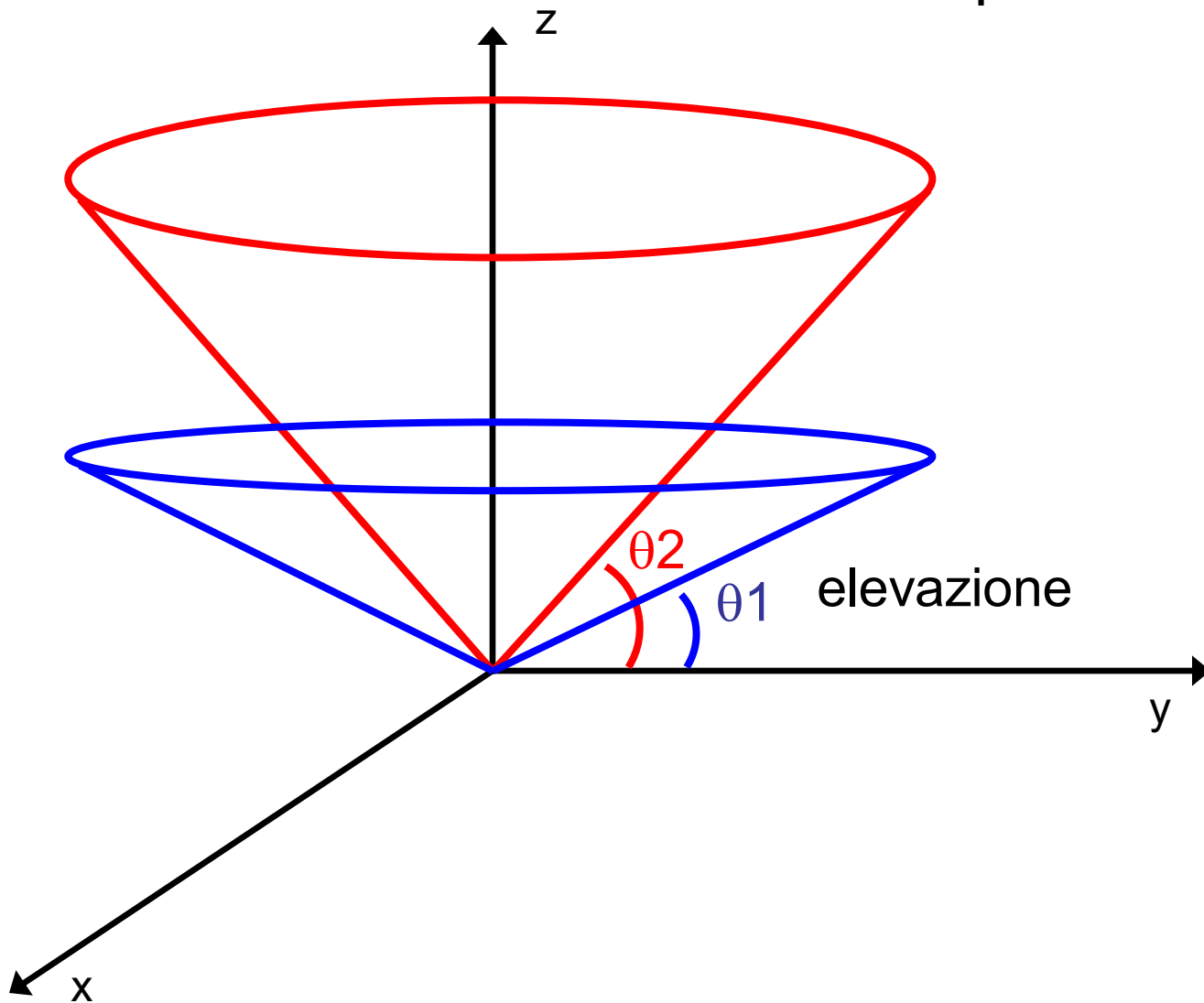
Ripetendo il processo per varie elevazioni



Scansione volumetrica



volume polare



La scansione di Monte Settepani (ARPA Piemonte - ARPAL)

- Un ciclo completo ogni 5'
- Range: 170 km
- Larghezza del fascio: 1.0°
- 11 elevazioni
- PRF = 1040 Hz

L'equazione del radar per bersagli meteorologici

\bar{P}_r Potenza ricevuta

C Costante radar

r Distanza dal bersaglio

D Diametro delle goccioline

$$\bar{P}_r = \frac{C}{r^2} \sum_i D_i^6$$

$$C = \frac{\pi^3 P_t g^2 \theta \phi h |K^2| l}{1024 \ln(2) \lambda^2}$$

Equazione radar

$$\bar{P}_r = \frac{C}{r^2} \sum_i D_i^6$$

$$Z = \sum D^6$$

$$C = \frac{\pi^3 P_t g^2 \theta \varphi h |K^2| l}{1024 \ln(2) \lambda^2}$$

- Radar reflectivity factor
- Dipendenza dalla sesta potenza del diametro delle gocce di pioggia!
- Valida per $\lambda \gg D$ (Rayleigh scattering)

La stima della precipitazione

L'importanza del termine di riflettività sta nel fatto che tale termine è legato, in maniera empirica, alla quantità d'acqua che cade.

La riflettività Z è proporzionale alla precipitazione secondo la relazione **empirica**:

$$Z = aR^B$$

dove:

R rainfall rate (pioggia)

a, B coefficienti di tipo empirico

La relazione è empirica!

il radar meteorologico **stima** la precipitazione, **non la misura**.

Le relazioni riflettività – pioggia

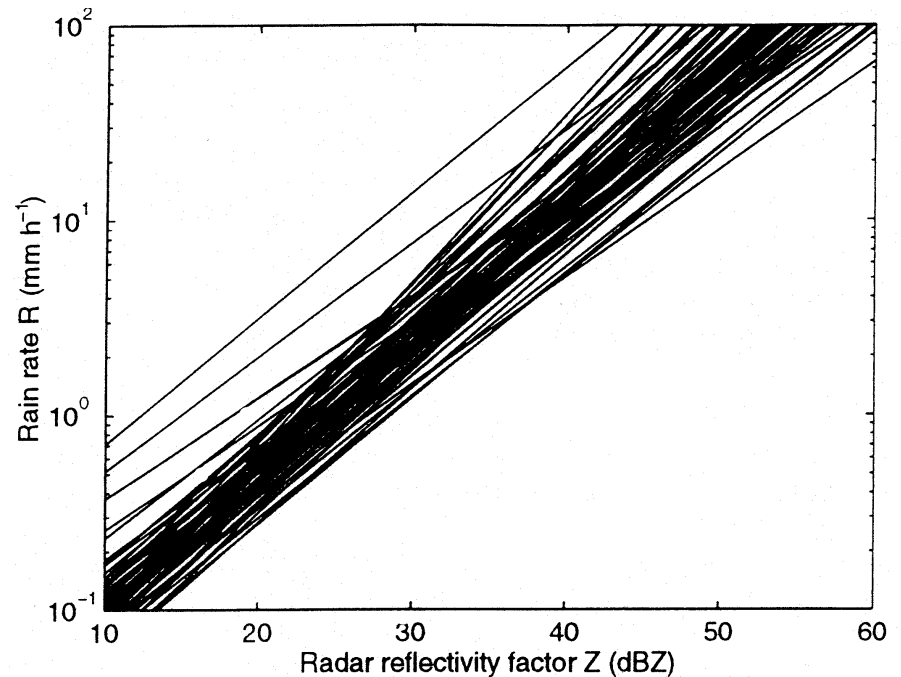
Essendo una relazione di tipo empirico, esistono innumerevoli coppie di coefficienti a e B, a seconda di località geografica, tipo di precipitazione, etc.. Il grafico qui sotto rappresenta l'andamento della pioggia R in funzione della riflettività Z per varie coppie di coefficienti a e B

Tra le migliaia di coppie di valori, la più utilizzata in assoluto (Marshall e Palmer) è la seguente:

$$Z = 200R^{1.6}$$

Ma esiste anche la famosa (J. Joss):

$$Z = 300R^{1.5}$$



Ed ancora molte altre, che mettono ad esempio in evidenza la stagionalità della precipitazione, e si prefiggono di sistemare i coefficienti a e B in funzione della tipologia della precipitazione (convettiva o stratiforme).

Precipitazione istantanea

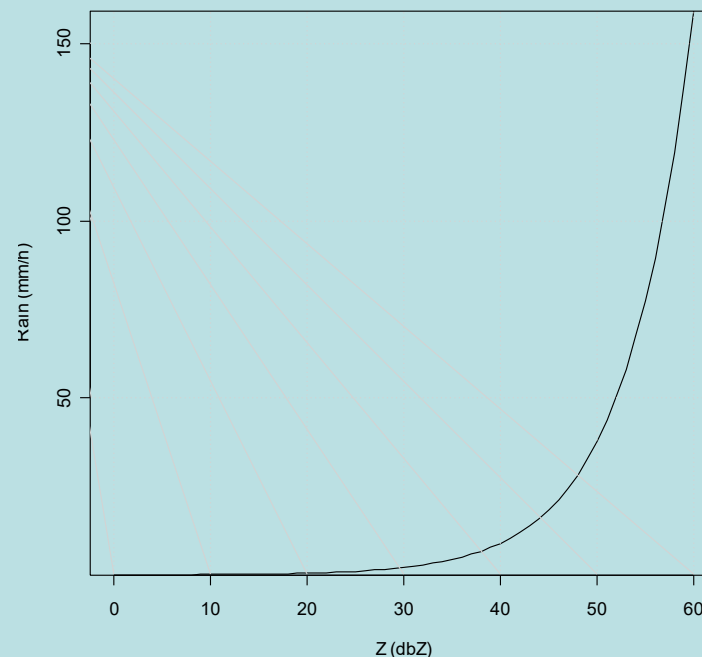
$$\text{dBZ} = 10 * \log_{10} (Z / Z_0)$$

Z_0 riflettività equivalente per goccia di 1 mm
in volume di 1 m³

Z dBZ	R mm/h
10	0.1
20	0.5
40	8.9
60	159

Marshall & Palmer

$$Z = 200 \cdot R^{1.6}$$



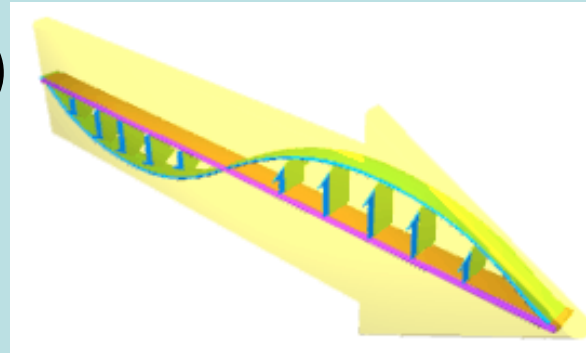
La riflettività differenziale

$$Z_{dr} = 10 \cdot \log_{10} (Z_h / Z_v)$$

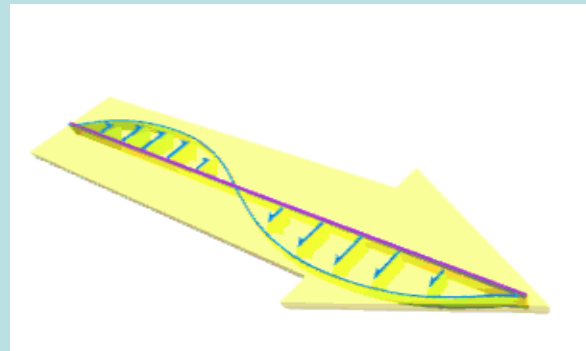
Mediante onde polarizzate si osserva il segnale in direzioni privilegiate (orizzontale e verticale)

Dipendenza da forma ed orientazione delle idrometeore

Classificazione della precipitazione (neve, pioggia, grandine)



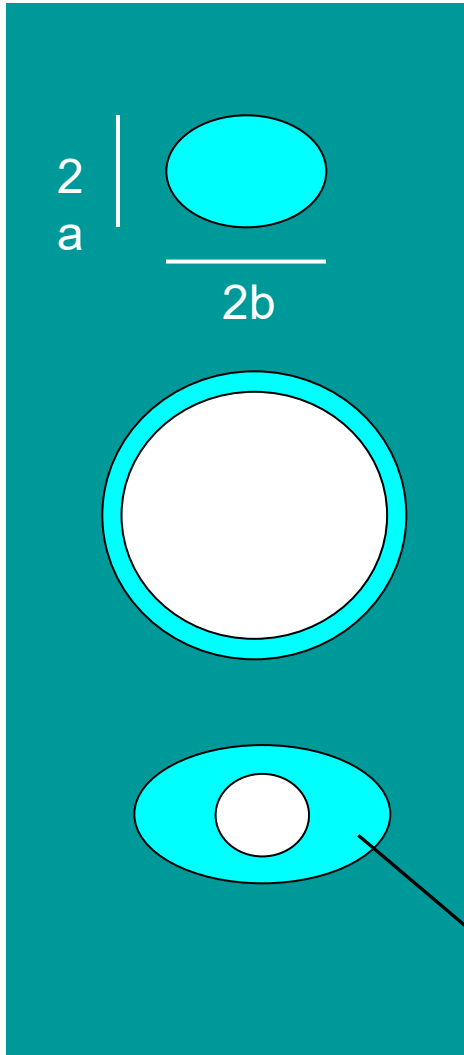
Vertical



Horizontal

Pioggia & Grandine

(valori tipici di Z e Z_{DR})



Pioggia:
($b/a \leq 1.5$)

$$20 \leq Z \leq 55 \text{ dBZ}$$
$$0 \leq Z_{DR} \leq 4 \text{ dB}$$

Grandine:

$$Z \geq 55 \text{ dBZ}$$
$$Z_{DR} \approx 0 \text{ dB}$$

Grandine grossa
→ $Z_{DR} < 0 \text{ dB}$

Nucleo
ghiacciato

$$Z > 50 \text{ dBZ}$$
$$Z_{DR} > 4 \text{ dB}$$

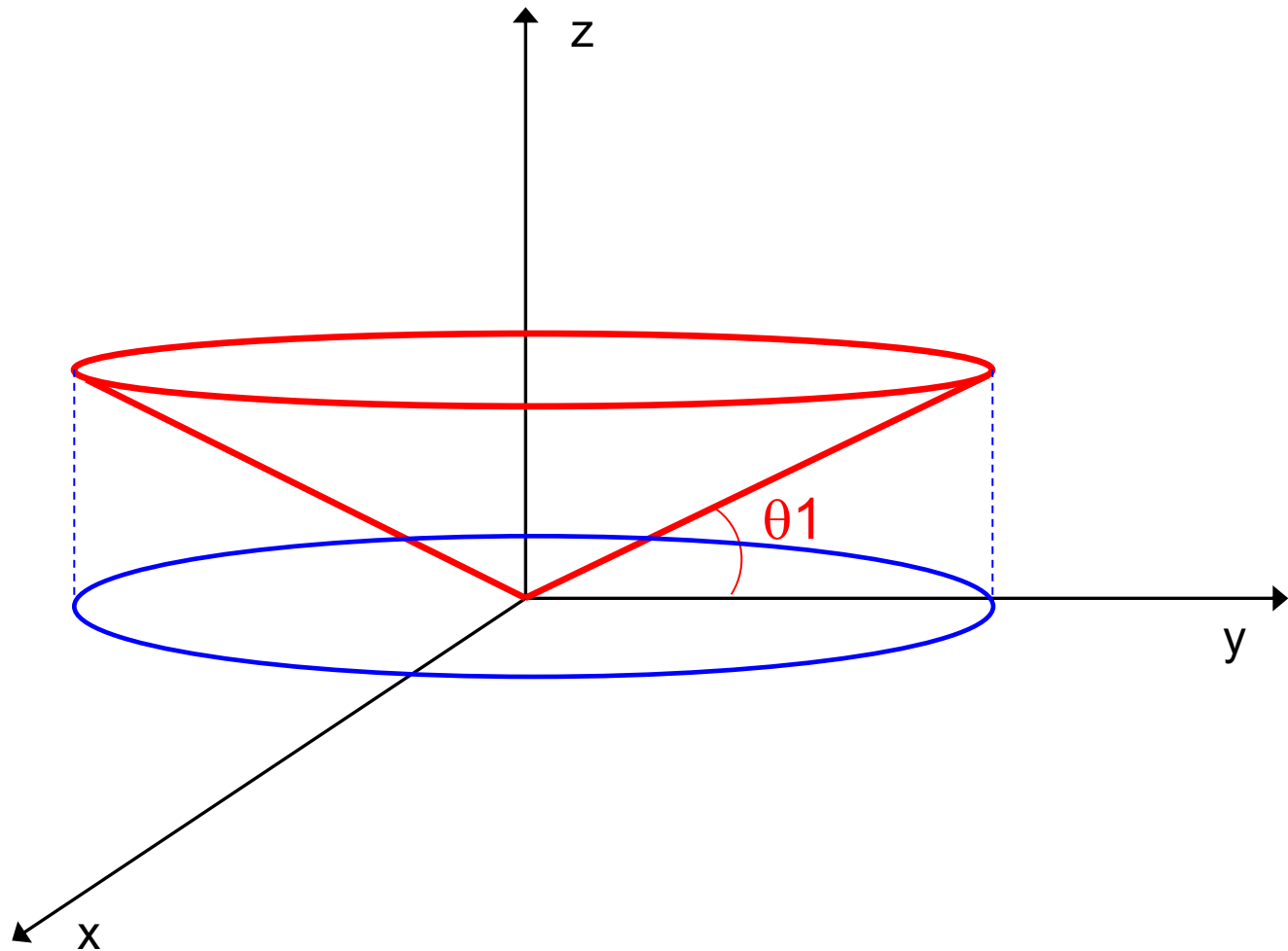
Toro d'acqua ($b/a > 1.5$)

Caratteristiche dell'eco radar

- Precipitazioni stratiformi
 - stratificazione dell'eco radar: pioggia, strato di scioglimento (*melting layer*), neve/cristalli
 - top della nube nella media troposfera (4 ÷ 8 km)
 - evoluzione lenta
- Precipitazioni convettive
 - celle ben definite (forti gradienti di riflettività)
 - sviluppo verticale: top della nube nell'alta troposfera (8 ÷ 15 km)
 - alta variabilità spazio-temporale

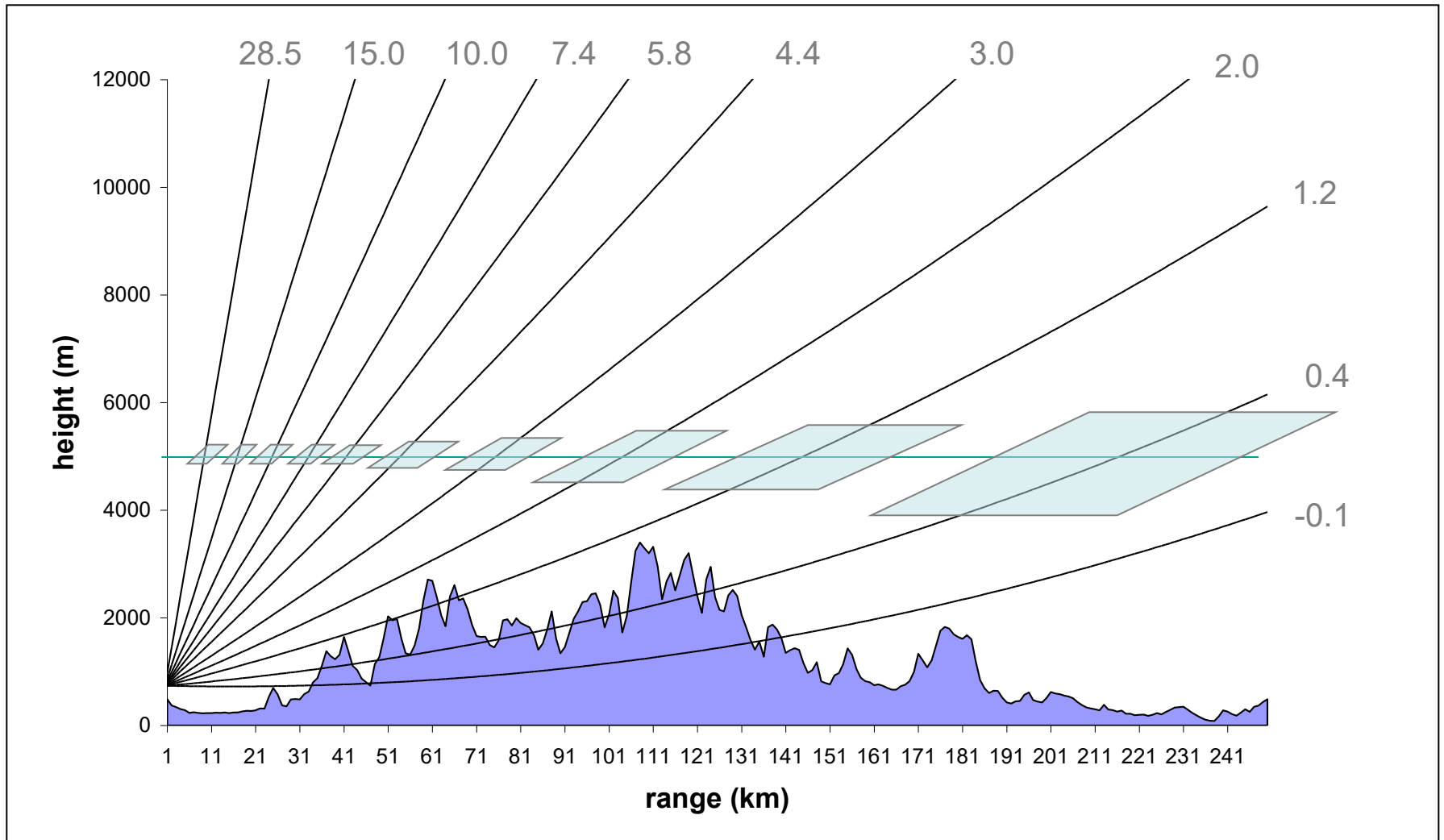
PPI (Plane Position Indicator)

Proiezione al suolo dei dati acquisiti su una superficie conica



CAPPI (Constant Altitude PPI)

“Taglio” ad una determinata quota

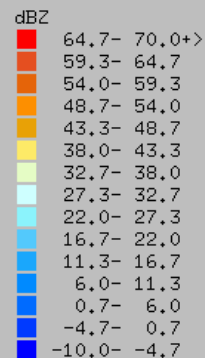
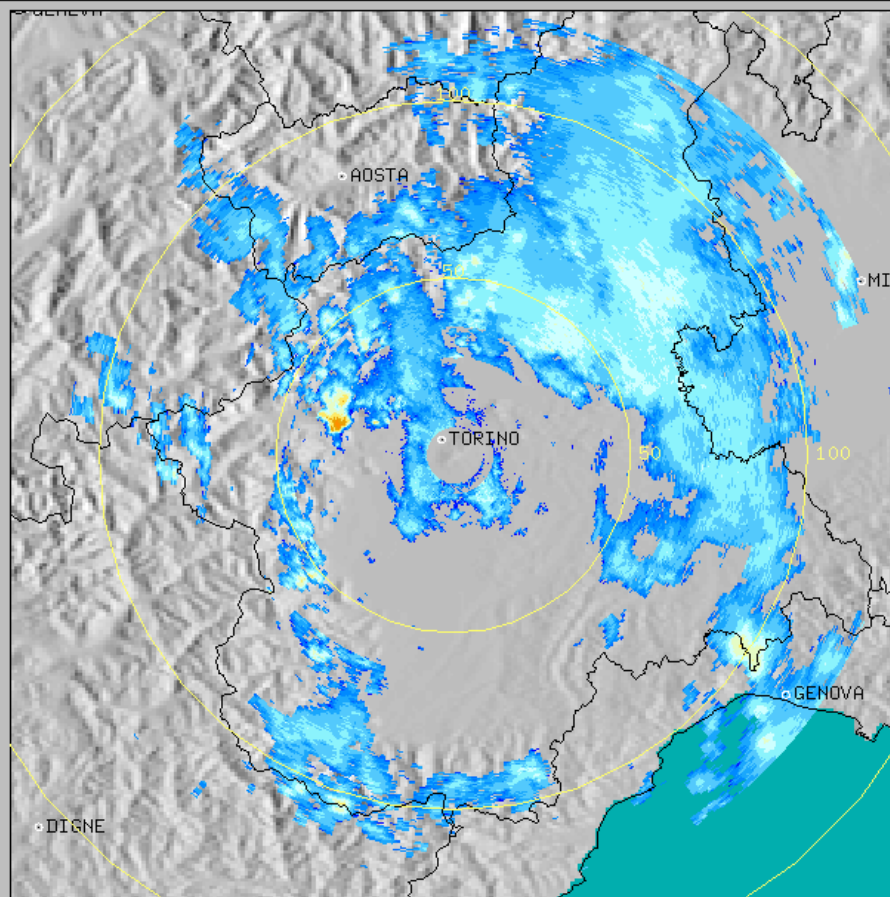


Radar Bric della Croce (TO)

CAPPI a 5000 metri

File : 2002050314202659.hcz
Type : CAPPI(Z)
Range: 125,0 km

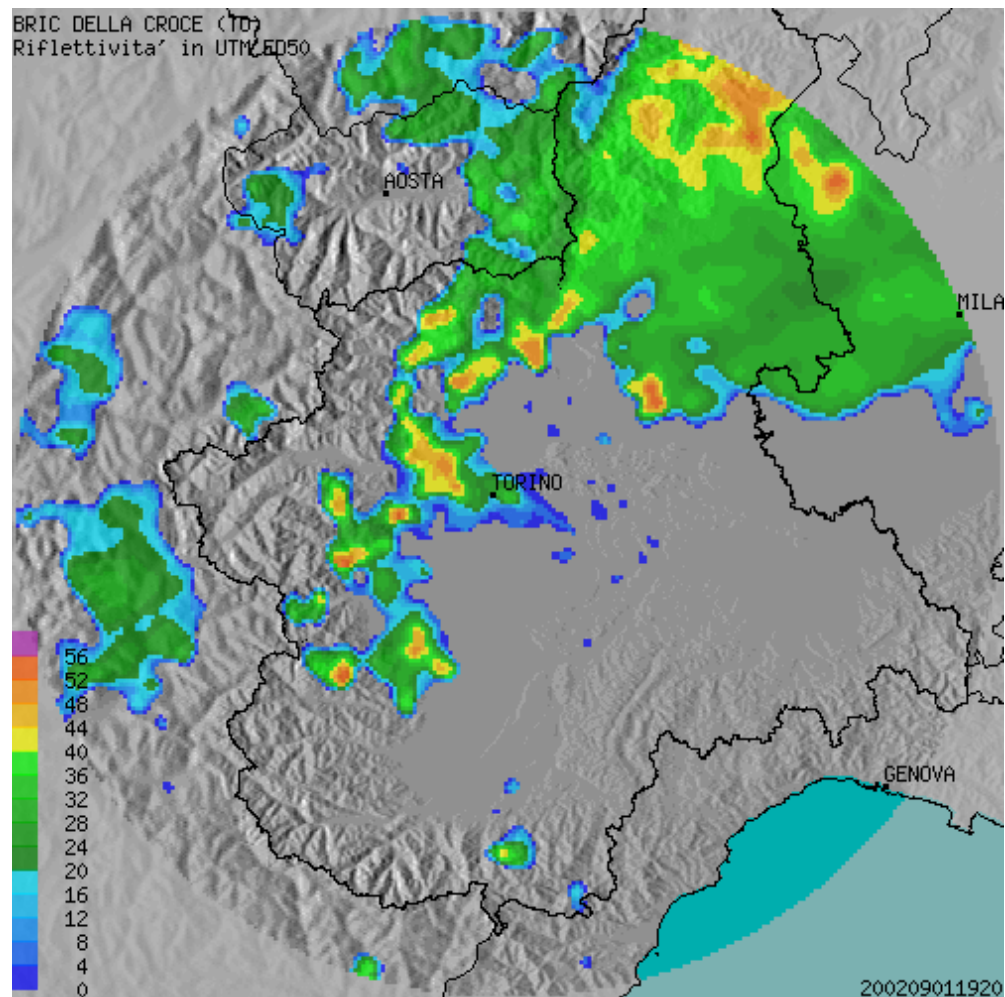
03.05.2002
14:20:26



Torino/Italia
Scan R : 125 km
Disp R : 125 km
Disp Res: 0.417 km
PRF: 1100 / 0
RS : 1
TS : 55
CC : Doppler 6
RoD: 7.9-125.0 km
H : 5.00 km

REGIONE PIEMONTE
Settore
Meteoidrografico

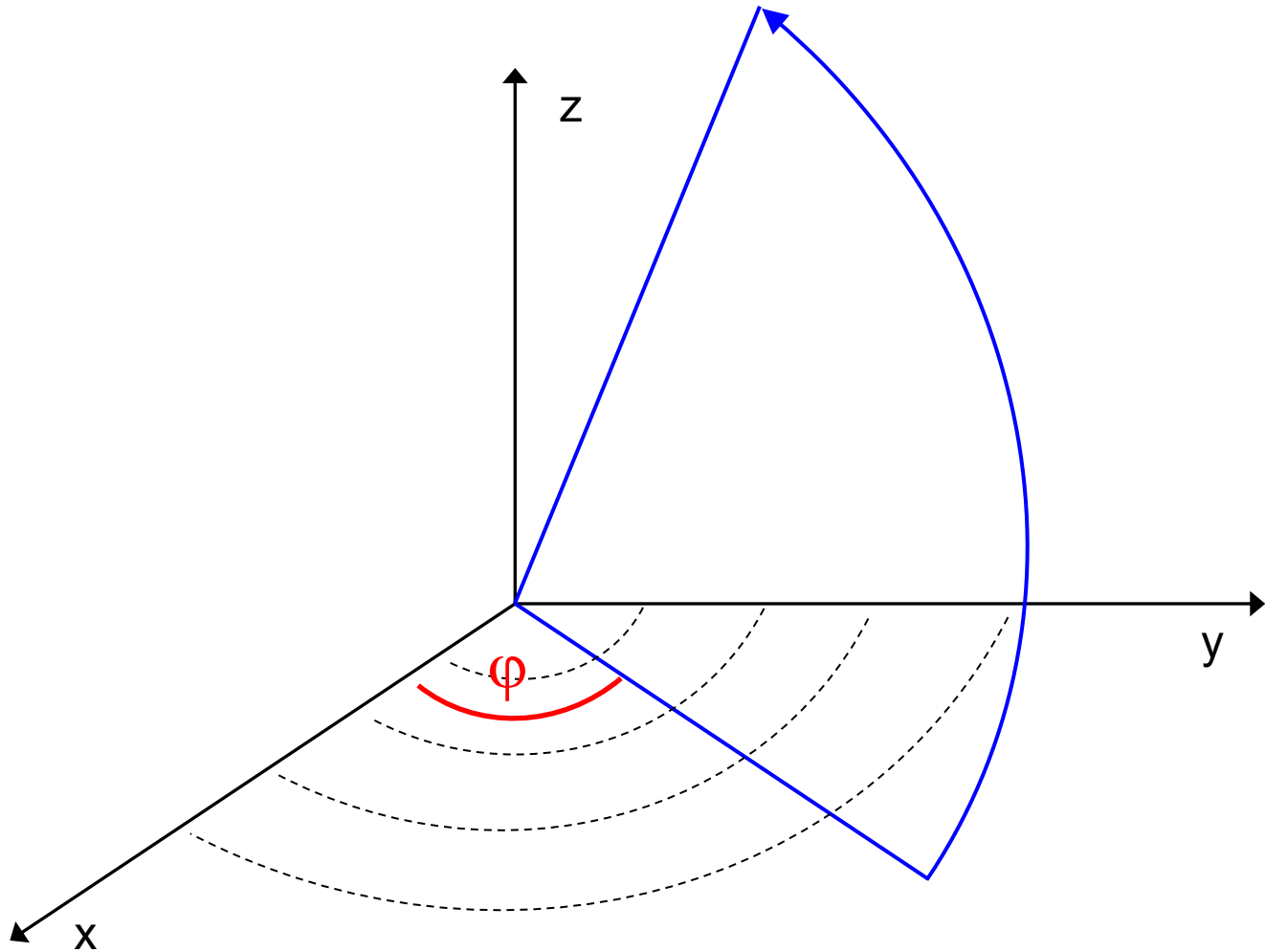
Lowest Beam Map (dBZ)



Radar Bric della Croce (TO)

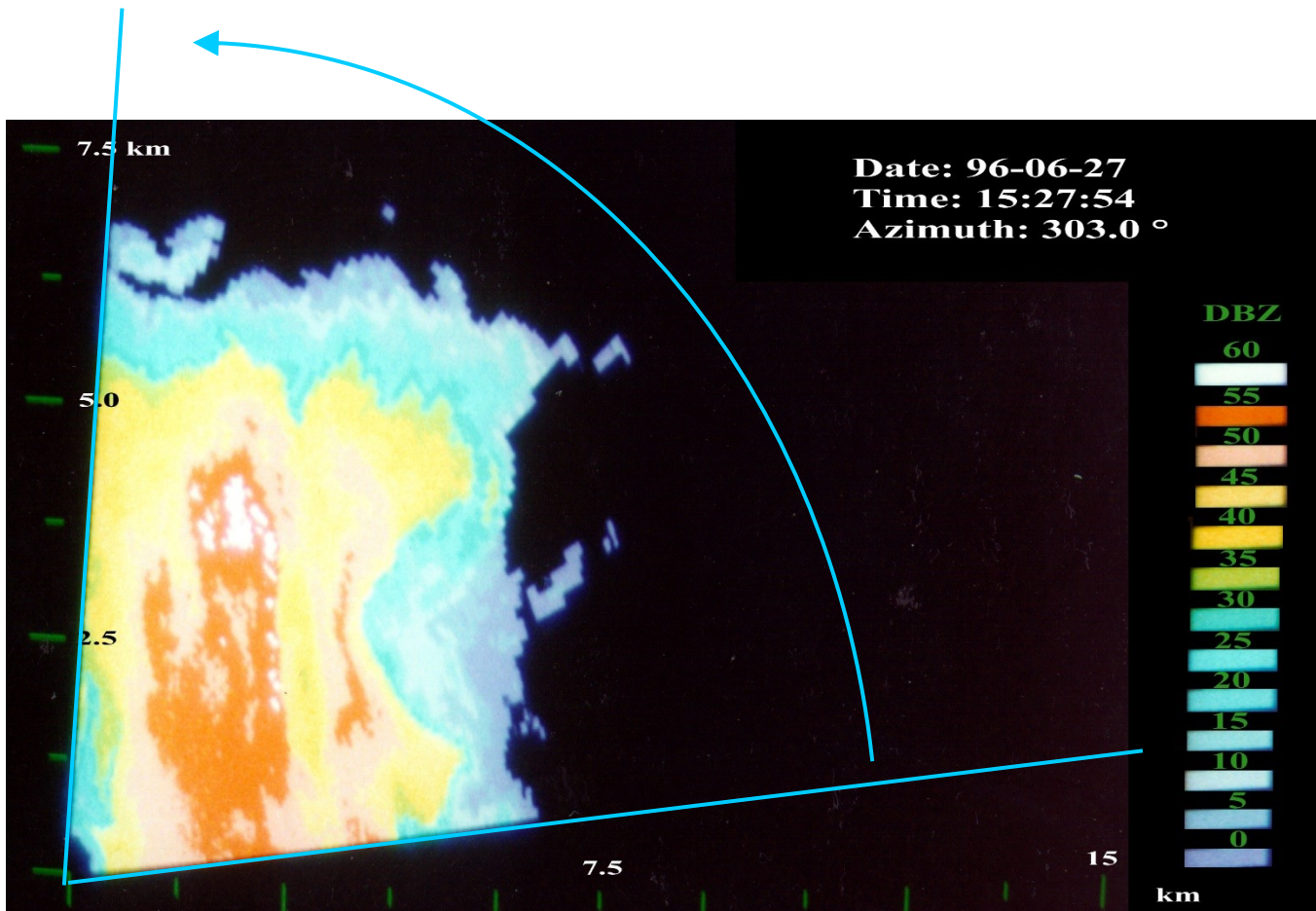
RHI (Range Height Indicator)

Scansione verticale in corrispondenza di un determinato azimuth φ



Radar Fossalon di Grado (GO)

RHI (fotografia del display radar)



II radar Doppler

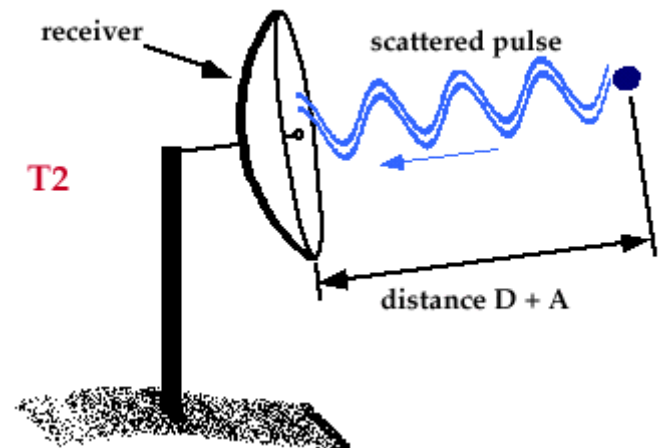
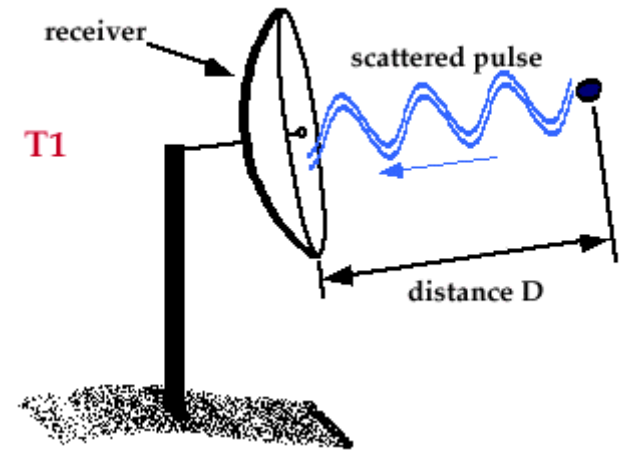
Doppler radars can measure the component of the velocity of targets toward or away from the radar. This component is called the "radial velocity".

1) at time T_1 a pulse is sent towards a target and it returns a target distance " D ".

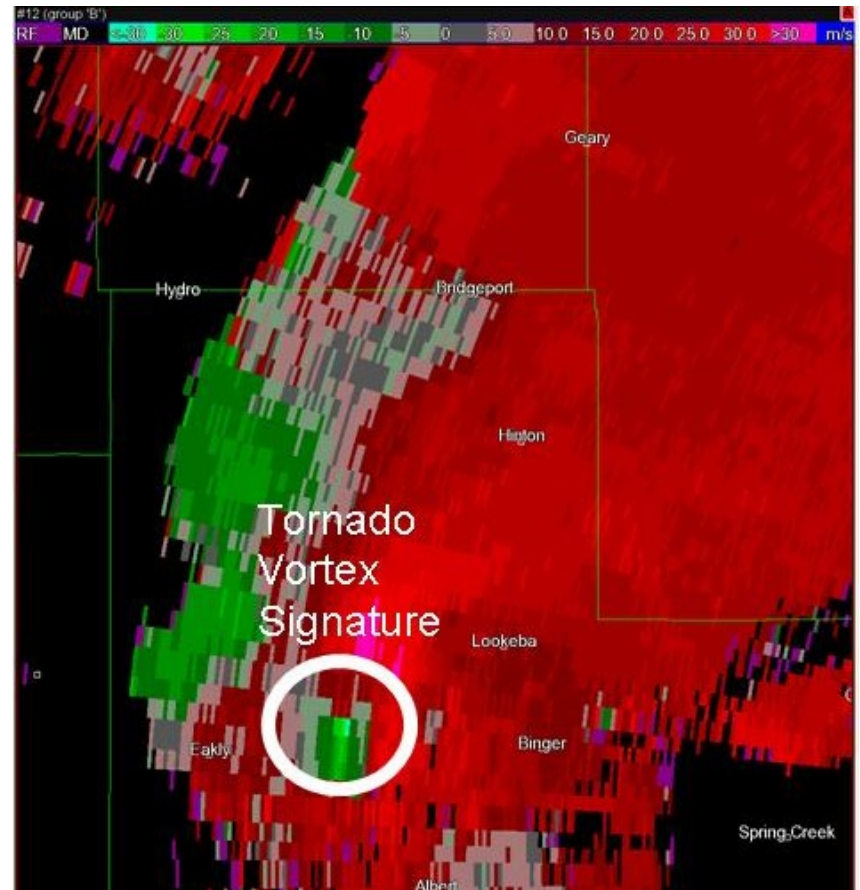
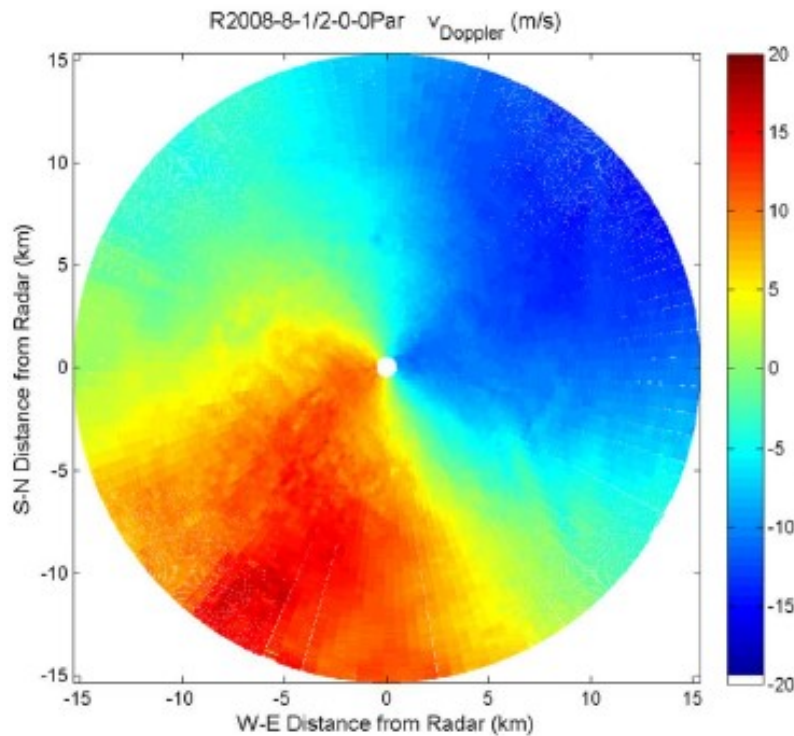
2) At time T_2 , another pulse is sent towards the same target and returns a target distance " $D+A$ "

The distance to target has changed from times T_1 to T_2 , resulting in a frequency shift between the two return signals, which Doppler radars are capable of measuring.

By knowing the **frequency shift**, the wavelength and the time interval from T_1 to T_2 , the velocity the target has moved toward or away from the radar can be computed.



L'interpretazione del Doppler

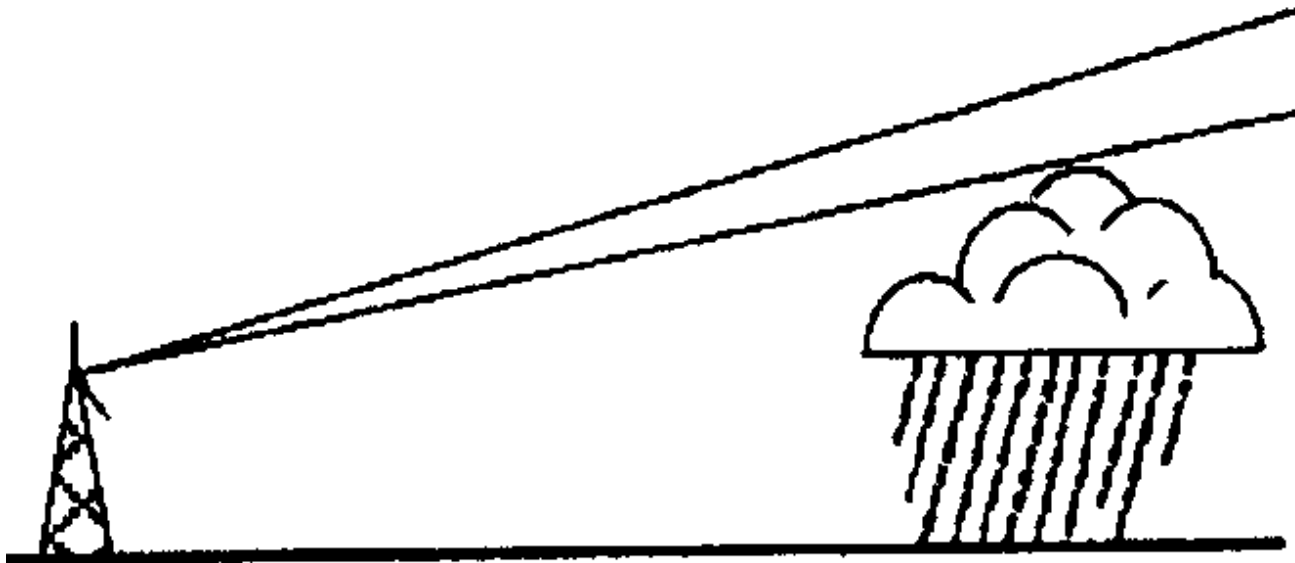


Interpretazione degli echi radar

Il radar non è necessariamente la “verità”

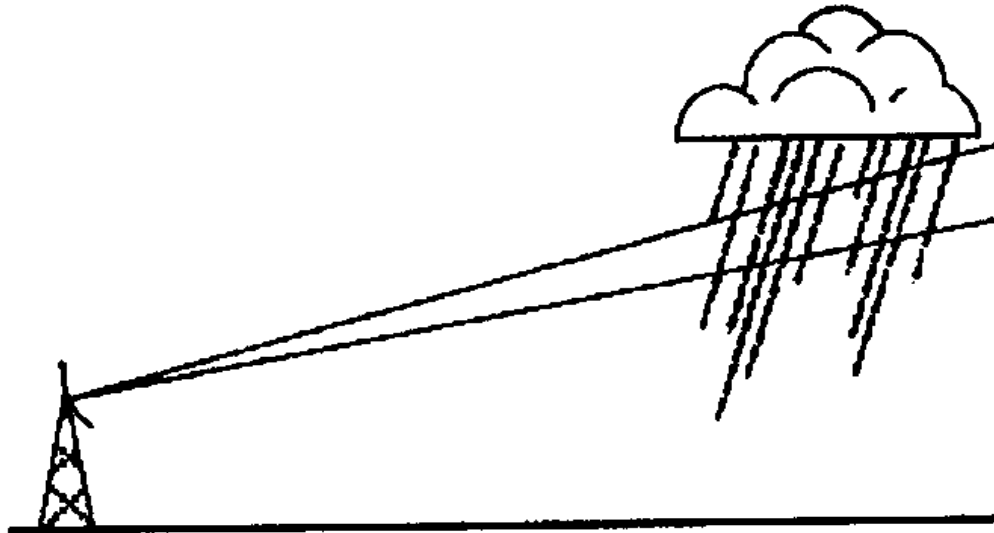
- errori meteorologici
- errori non meteorologici

Radar beam above cloud



- **At 100km distance, beam is 2 km high**
- **misses rain beneath the beam**
- **radar under-estimates rainfall**

Evaporation beneath the beam

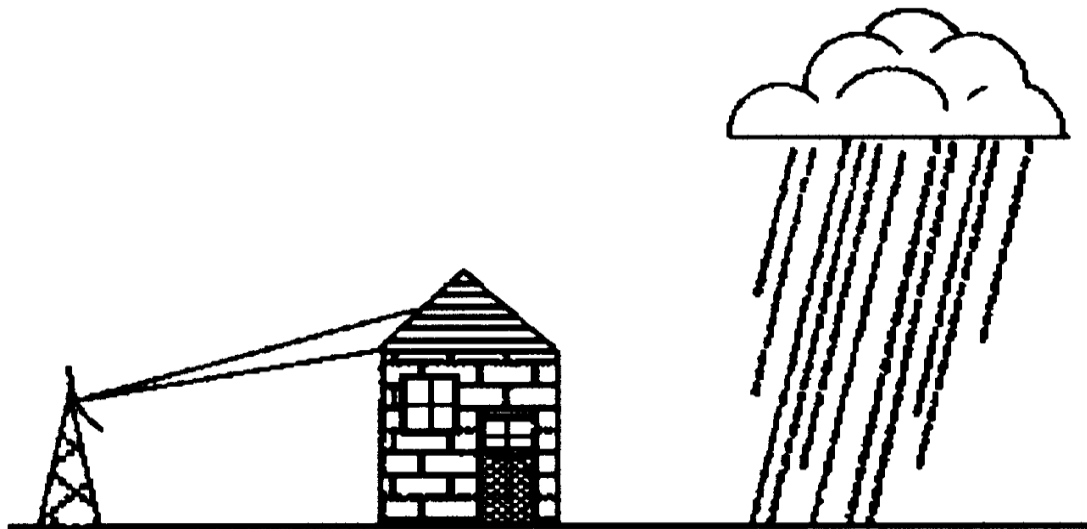


- **At 100km distance, beam is 2 km high**
- **high rain may evaporate below the beam**
- **radar over-estimates rainfall**

Identificazione del clutter (echi non meteorologici)

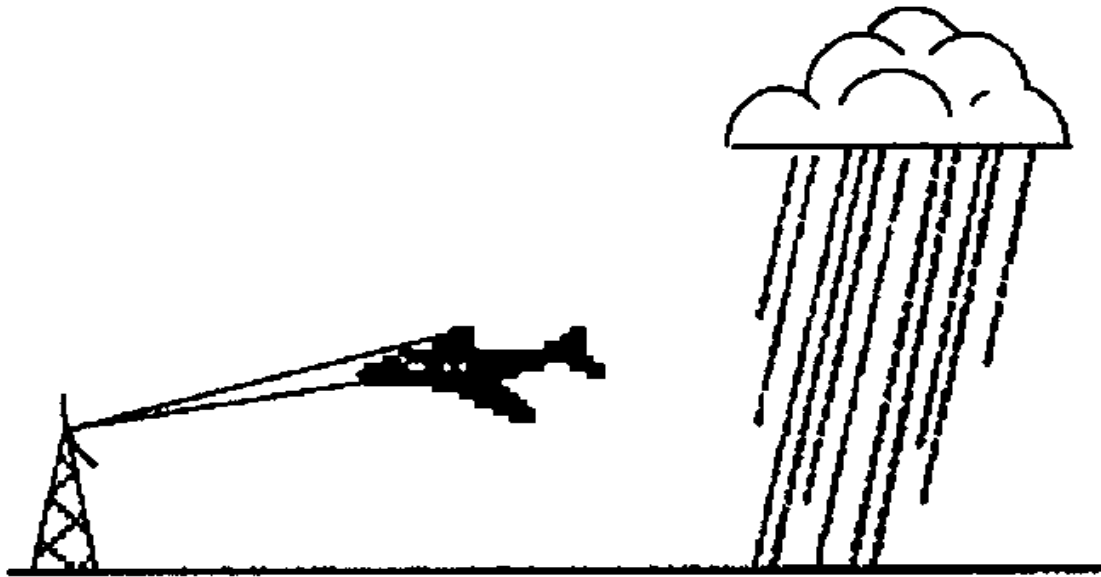
Indispensabile per l'applicazione di algoritmi automatici per la generazione di prodotti idro-meteorologici

Echi permanenti



- Colline, ostacoli superficiali
- “Ground clutter”
- Rimozione tramite tecniche di elaborazione del segnale

Echi spuri

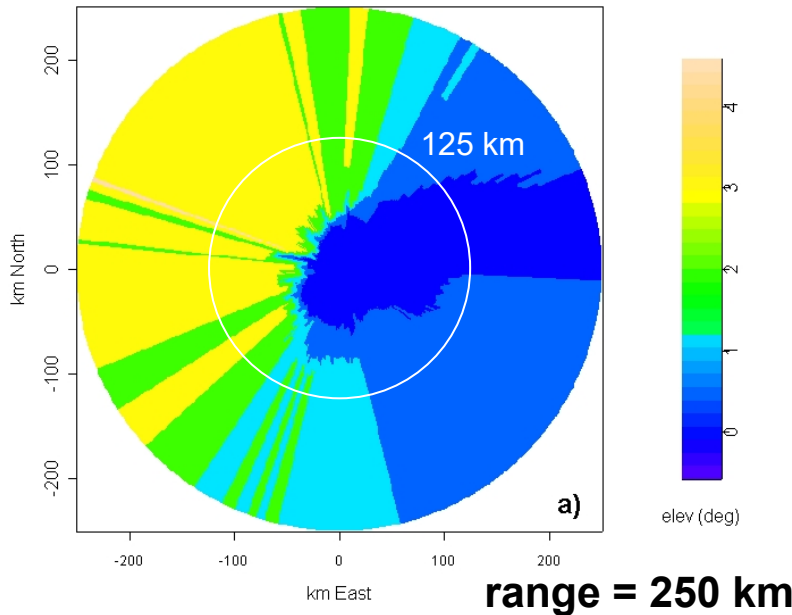


- **Navi, aerei, onde del mare, uccelli, insetti...**
- **Breve durata**
- **Non hanno l'aspetto della pioggia**

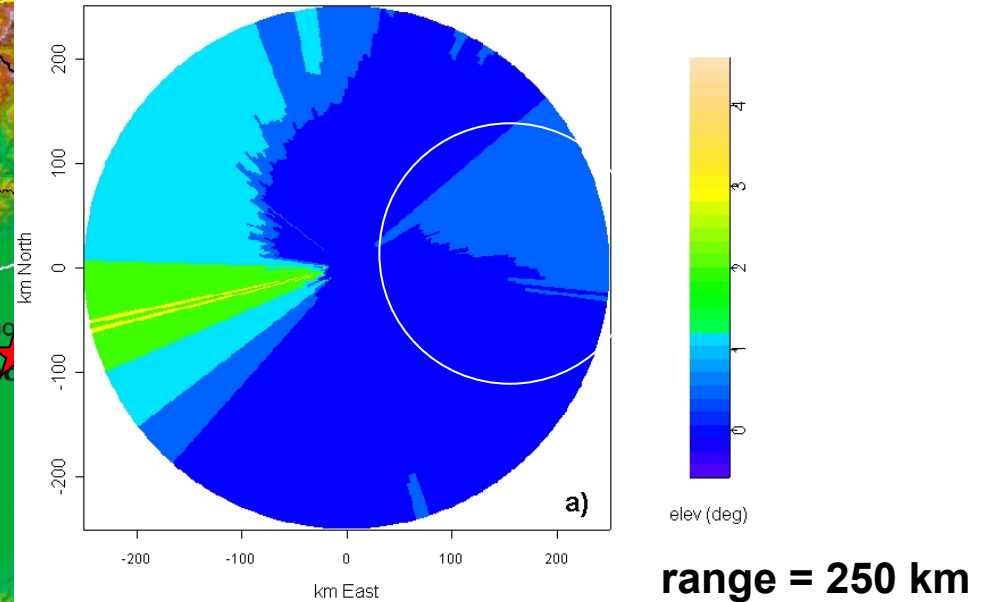
Caratteristiche dei sistemi radar

Radar e territorio

Visibility map - Bric (elevation)



Visibility map - Settepani (elevation)



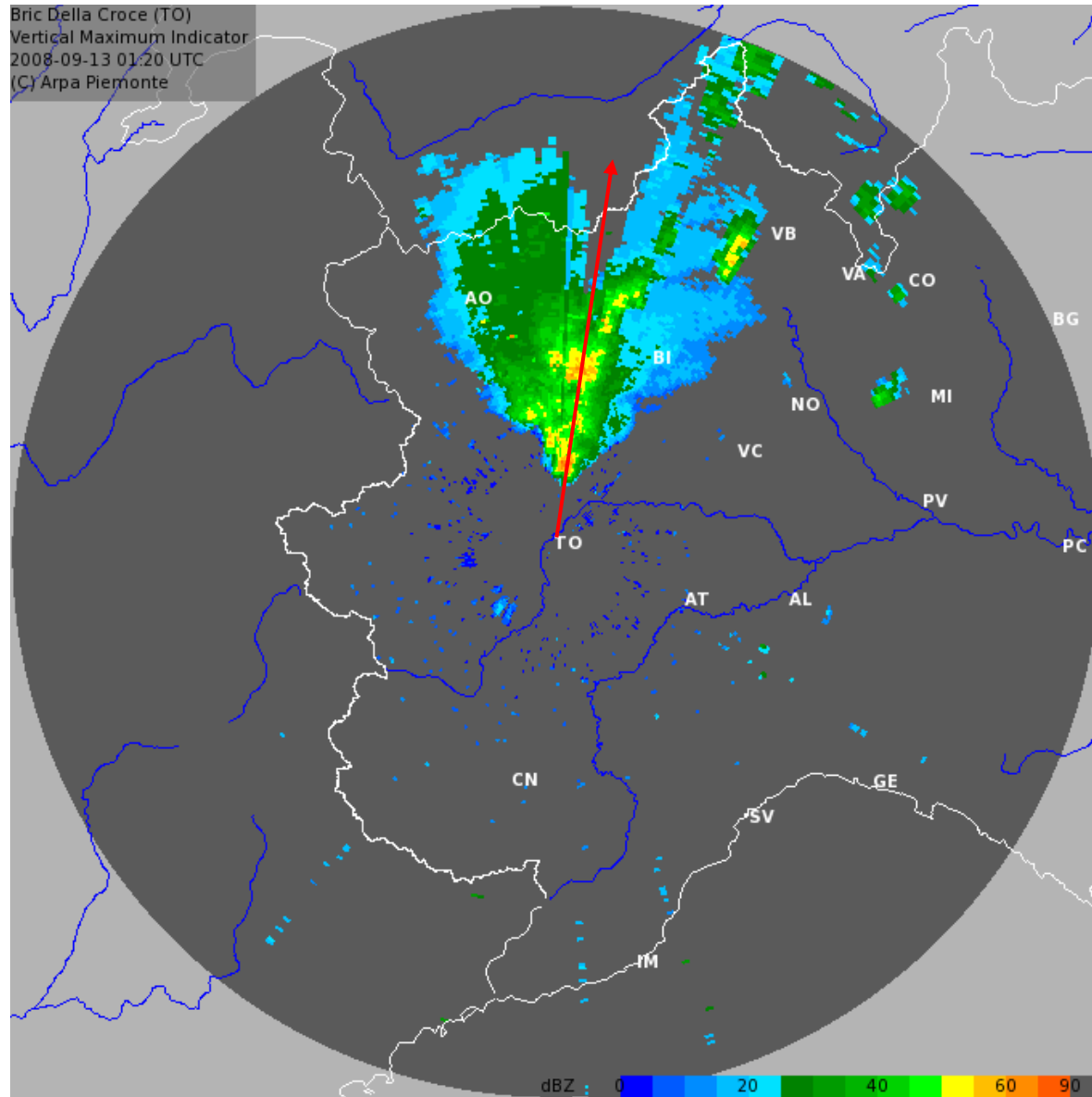
Height 736 m
Latitude 45.035
Longitude 7.734

Height 1390 m
Latitude 44.247
Longitude 8.199

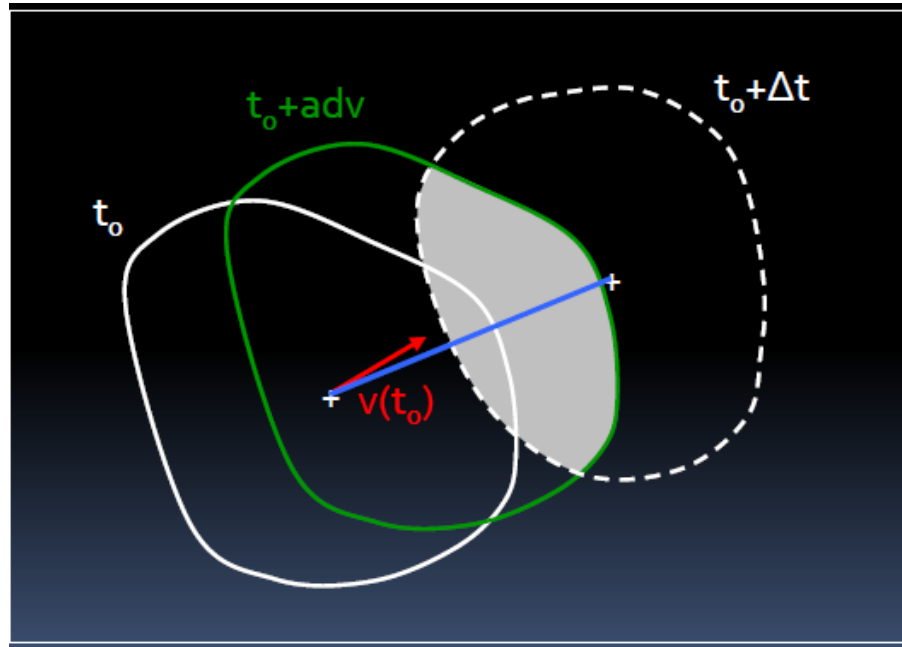
Attenuazione del segnale

- Un'onda elettromagnetica che viaggia nello spazio è soggetta alle leggi della fisica, ovvero alla presenza di svariati aggregati molecolari sul percorso dell'onda stessa.
- nello spazio libero l'attenuazione è nulla mentre all'interno dell'atmosfera, anche in assenza di pioggia o nuvole c'è una seppur minima attenuazione, a causa dei gas presenti: azoto, ossigeno, vapore acqueo. L'attenuazione diventa maggiore nel passaggio attraverso i corpi nuvolosi, la neve, la pioggia
- l'attenuazione dell'onda elettromagnetica cresce all'aumentare della frequenza, e quindi al diminuire della lunghezza d'onda
- il fenomeno è trascurabile per i radar in banda S ($\lambda \sim 10$ cm)
- richiede considerazione per radar che operano in banda C ($\lambda \sim 5$ cm)
- è molto importante per radar in banda X ($\lambda \sim 3$ cm) e K ($\lambda \sim 1$ cm) tanto da limitare notevolmente la portata di tali radar
- l'attenuazione causa la sottostima del fattore di riflettività al crescere della distanza (e quindi una sottostima dell'intensità della precipitazione)

Attenuazione del segnale



Storm tracking e nowcasting

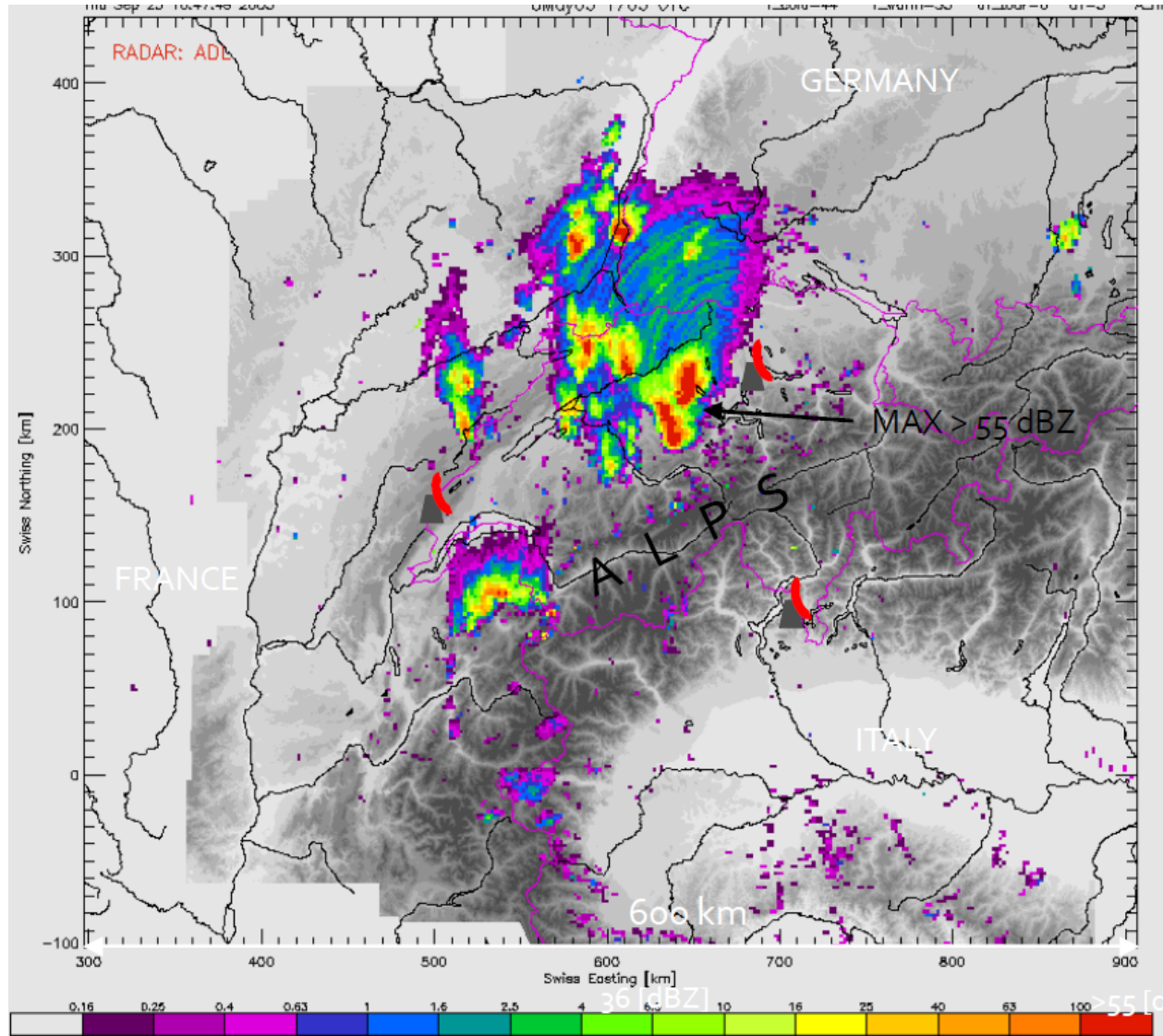


Identificazione centroidi celle e tracking con algoritmi «passivi» o «intelligenti» (evoluzione della forma e dell'intensità della cella)

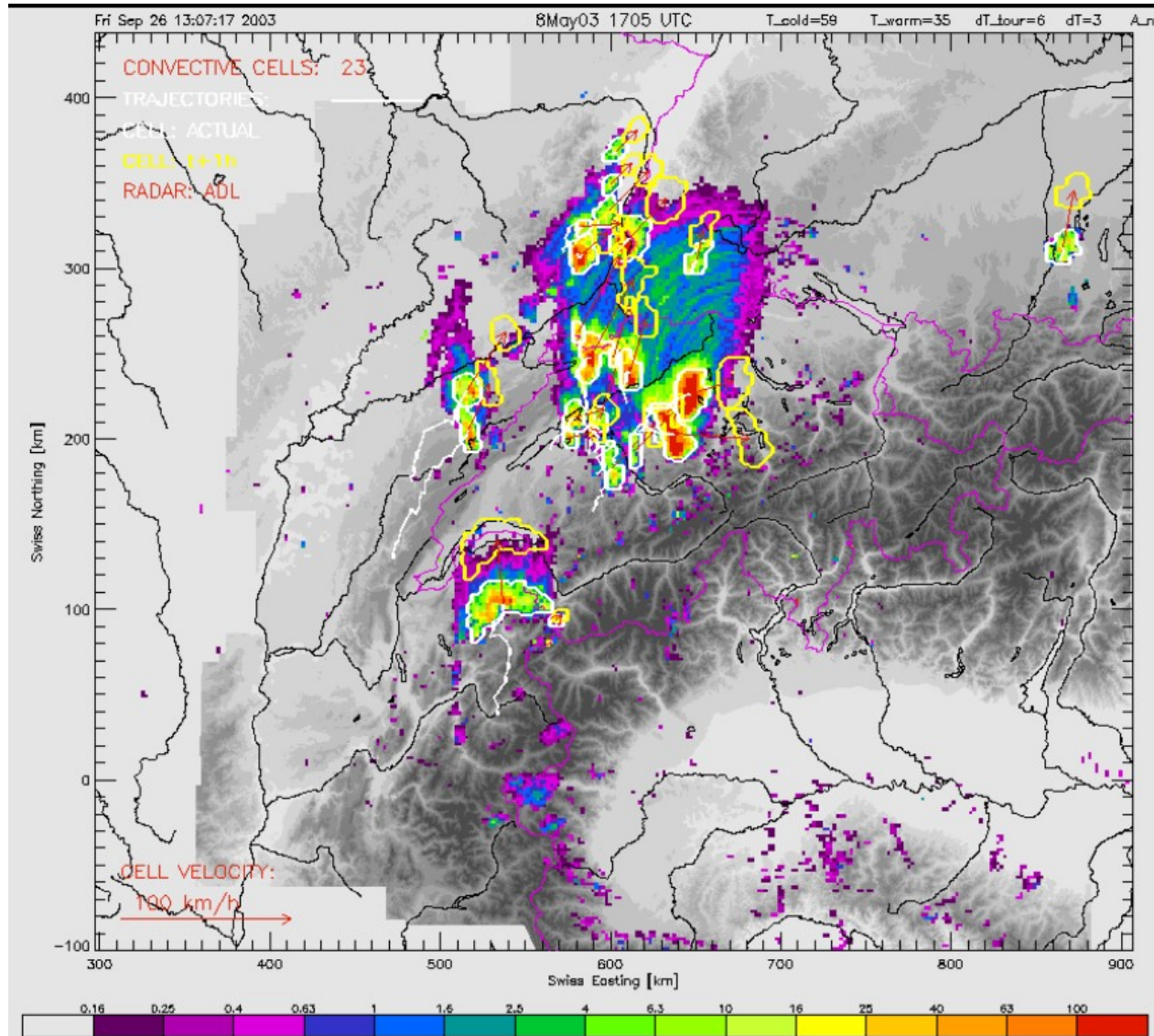
Esempi:

- TRT (Thunderstorm Radar Tracking), sviluppato da Meteosvizzera/MétéoFrance
- LIVESTORM (Arpa Piemonte, <https://lifestorm.it>)
- PhaSt (Fondazione CIMA)

Storm tracking e nowcasting

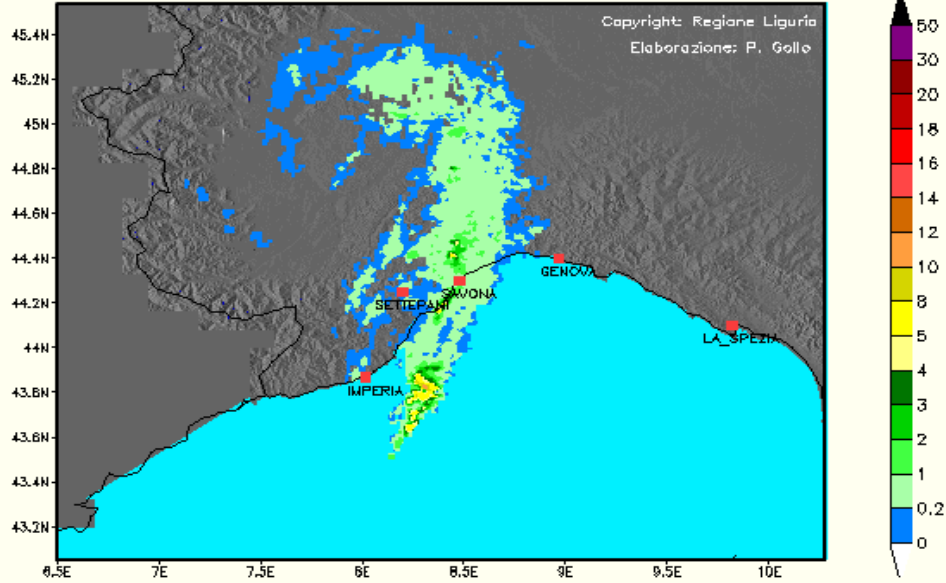


Storm tracking e nowcasting



I prodotti radar di CFMI - ARPAL

pioggia RPE



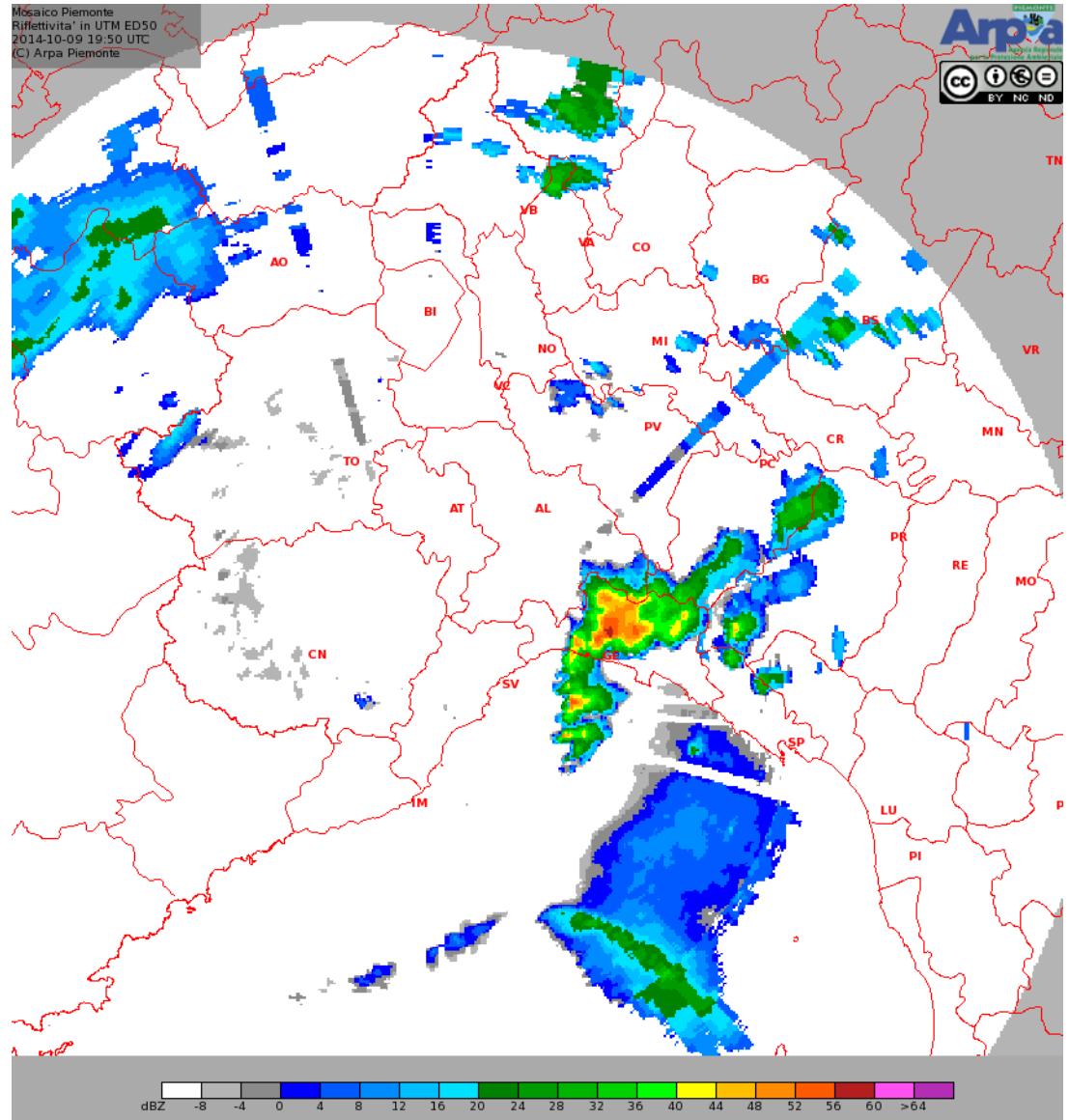
riferiti alle ore 02:00 UTC del 01 Jun 2007



Radar	Altezza [m] s.l.m.	1307
GPM	Longitudine [°]	8.20
250C	Latitudine [°]	44.25

Mosaico riflettività Bric della Croce - Settepani

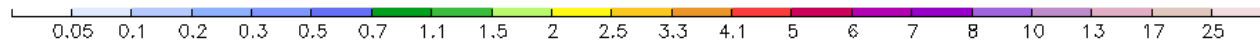
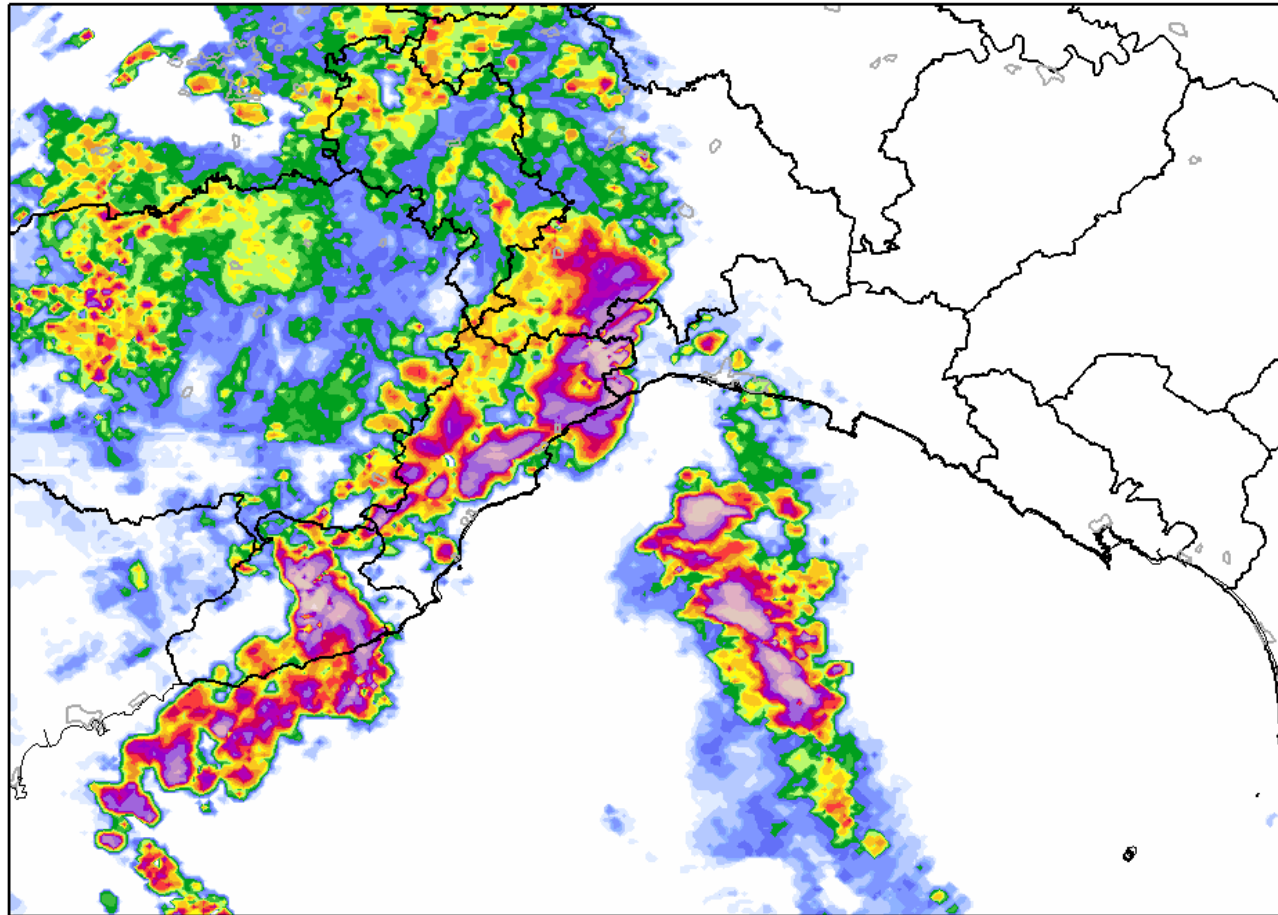
9 ottobre 2014



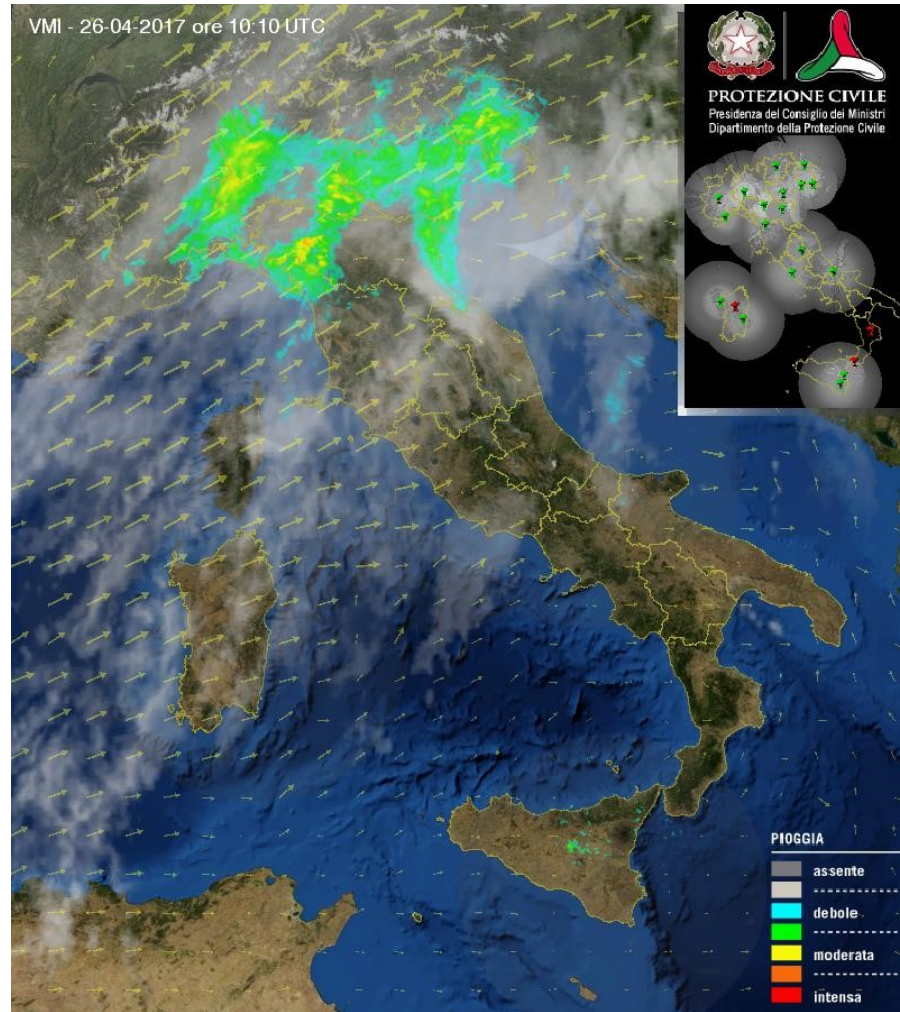
Stima della precipitazione caduta in 10 minuti



Precipitazione cumulata su 10 mn stimata da RADAR (mm)
Dom 13/09/2015 08:50 Locali



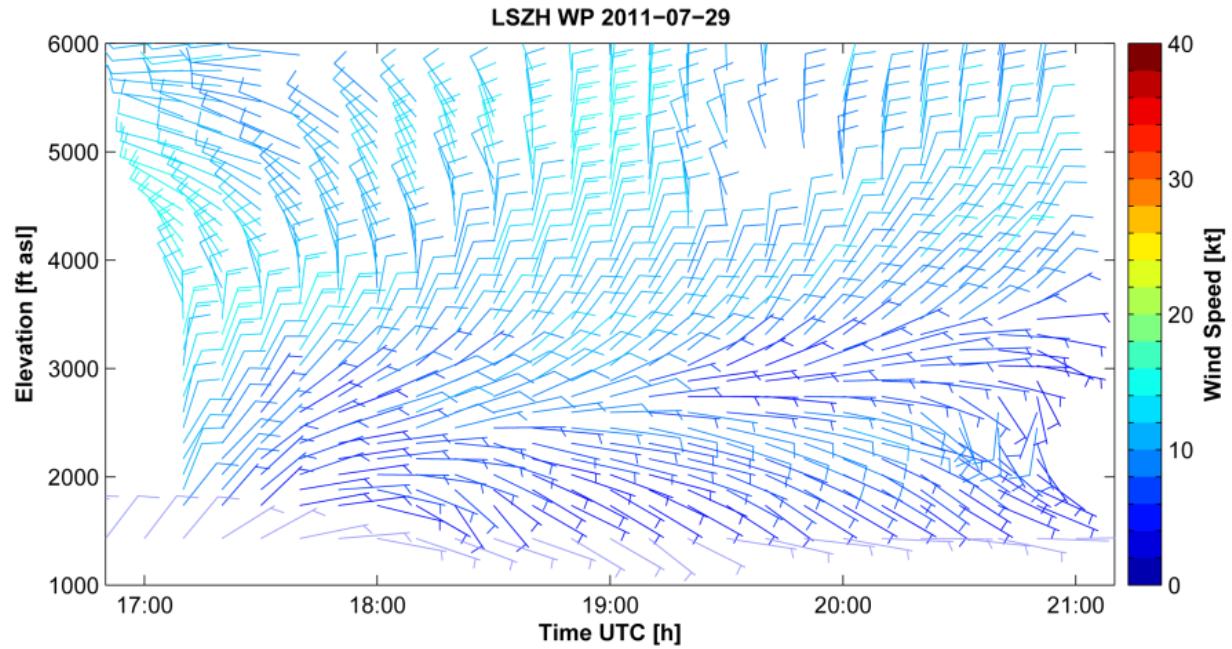
Composite nazionale DPCN



www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/meteo-idro/attivita/previsione-prevenzione/centro-funzionale-centrale-rischio-meteo-idrogeologico/monitoraggio-sorveglianza/mappa-radar

Profilatori

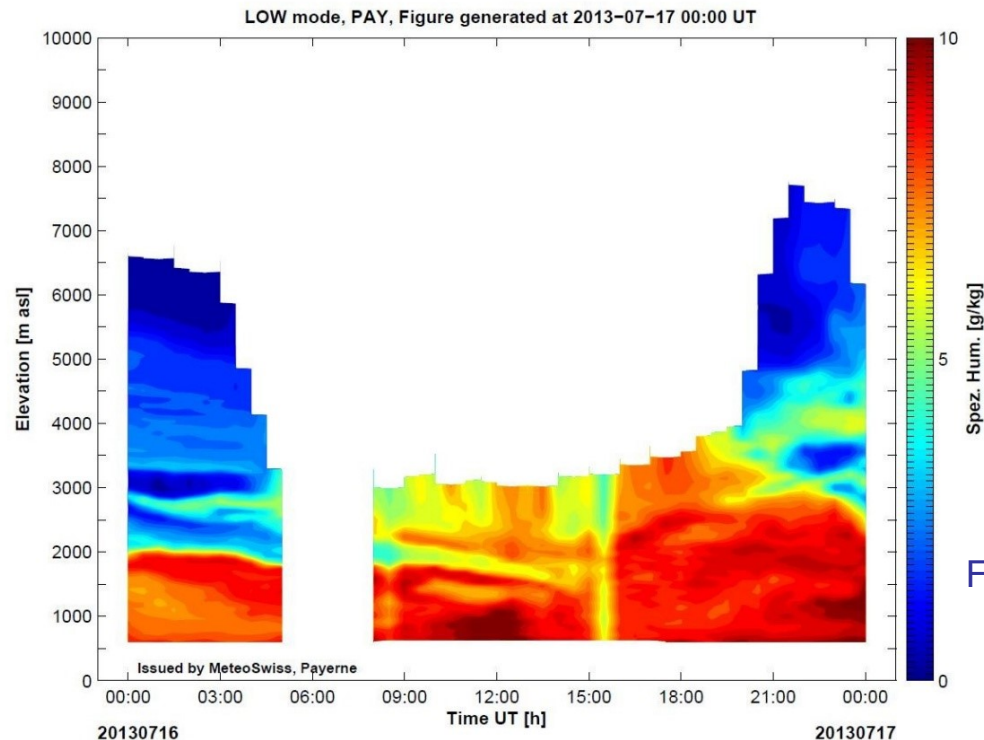
Fonte: Meteosvizzera



- Misura del profilo verticale del vento a quote comprese tra 150 e 5000 m tramite radar Doppler (sfruttando la differenza di frequenza tra le onde emesse e quelle ricevute), risoluzione verticale ~ 100 m, alta risoluzione temporale (10 min)
- Circa 30 stazioni in Europa, utilizzo per monitoraggio e inizializzazione modelli meteorologici

LIDAR (Light Detection And Ranging)

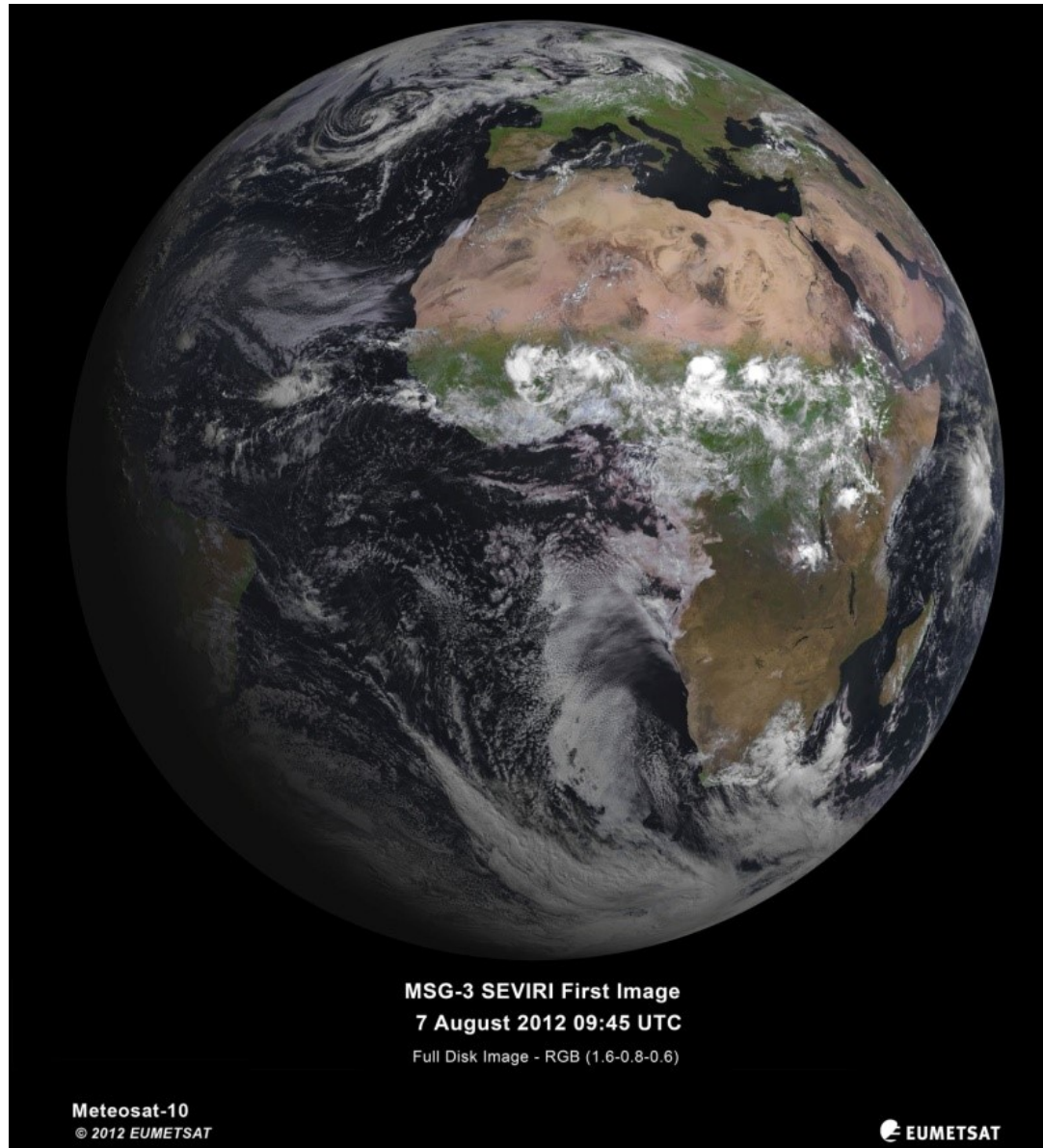
Profilo verticale di umidità specifica in funzione del tempo



Fonte: Meteosvizzera

- Analisi della retrodiffusione di un segnale laser da parte delle molecole e degli aerosol presenti in atmosfera. Elevata risoluzione spaziale (pochi m) e temporale (1 min)
- A seconda del tipo di LIDAR e della lunghezza d'onda usata possibilità di ottenere profili verticali ad alta risoluzione di temperatura, umidità e aerosol, altezza nubi, vento negli strati più bassi,...

Le misure da satellite



MSG-3 SEVIRI First Image

7 August 2012 09:45 UTC

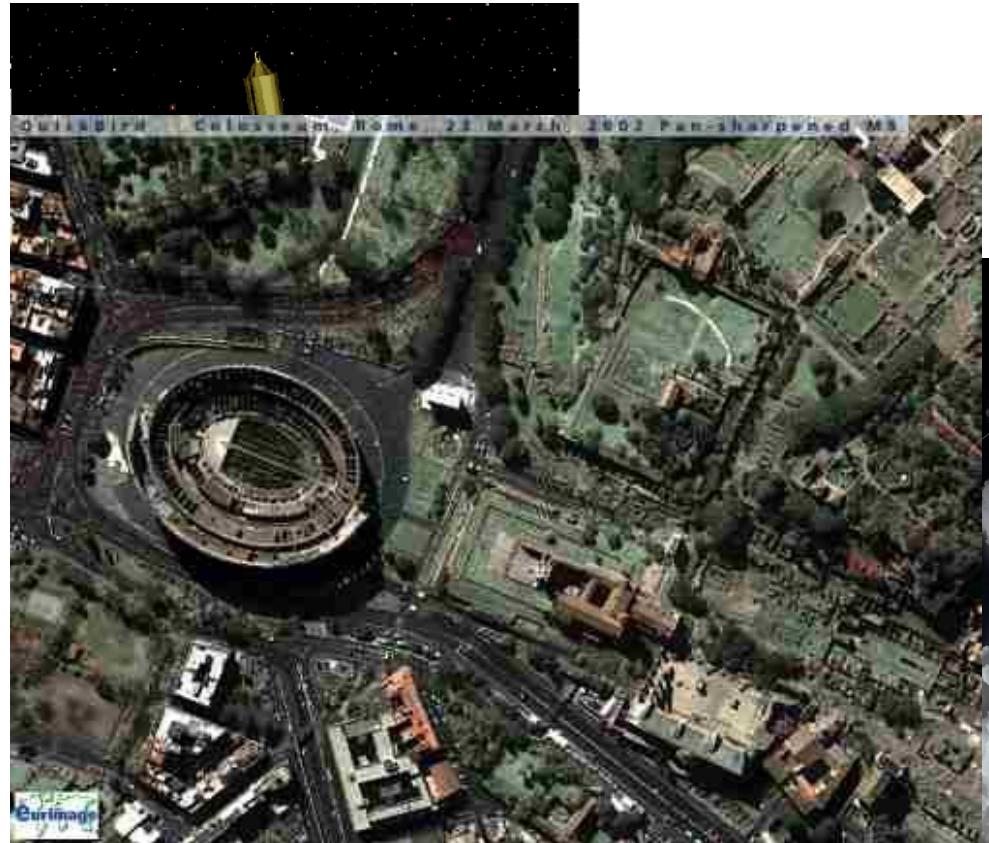
Full Disk Image - RGB (1.6-0.8-0.6)

Le misure da satellite

Un satellite è un oggetto in orbita attorno ad un corpo celeste (la Terra), su cui possono essere installati sensori per il monitoraggio di svariate grandezze.

I campi di applicazione dei satelliti sono vastissimi (telecomunicazioni, difesa, geografia e cartografia, scienze dell'atmosfera, idrologia, oceanografia, agricoltura...)

In meteorologia possibilità di avere una visione d'insieme su aree molto vaste impossibile da ottenere con altri strumenti

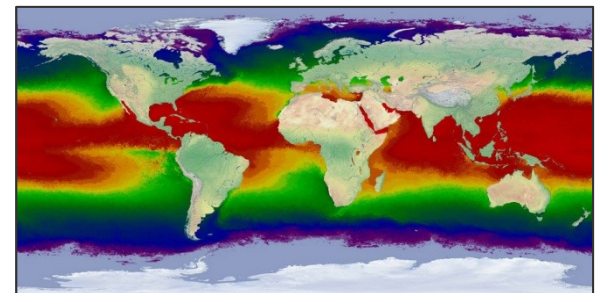
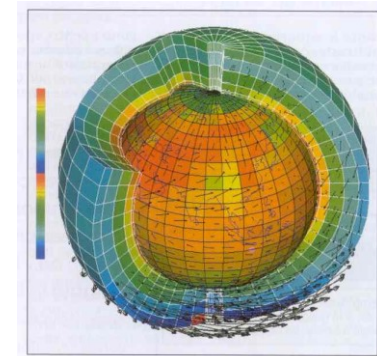
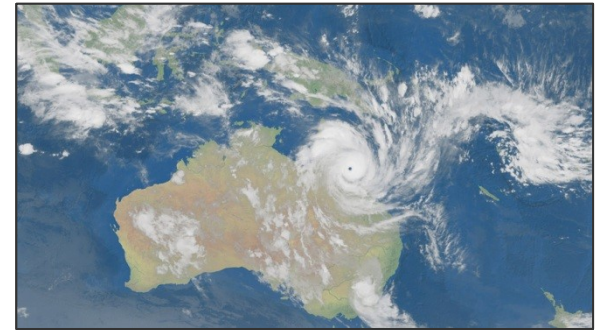


QuickBird 2
risoluzione < 1 m



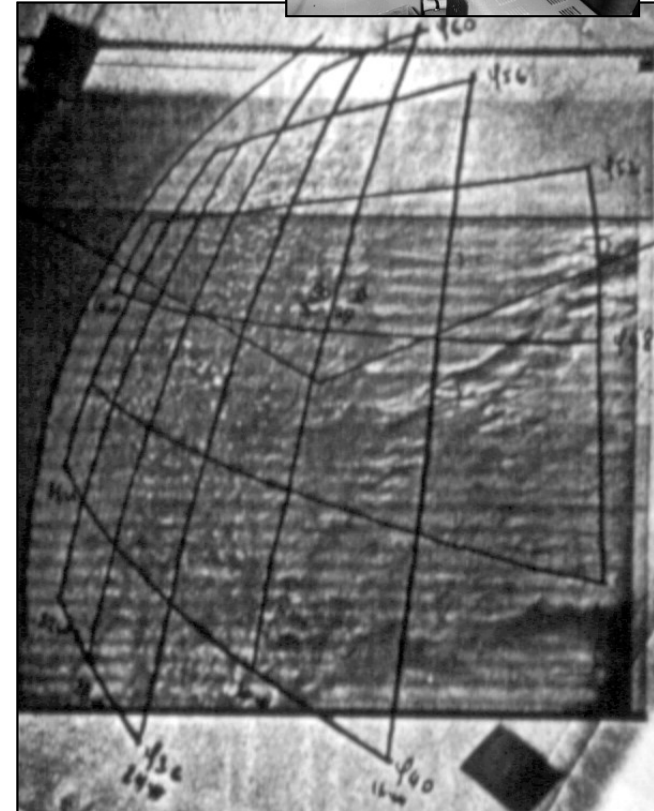
Aims of the meteorological satellite data

- **Earth OBSERVATION:**
 - clouds (classification, cloud top temperature and altitude, convective cells, ...)
 - atmosphere (temperature, humidity, aerosols, volcanic ash plumes, concentration of gases, ...)
 - surface (temperature, radiative flux, vegetation index, snow cover, forest fires, sea ice, wind speed and direction, ...)
- Data for the **NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODELS**
- **CLIMATE monitoring:**
 - long-term data storage (radiation budget climatology, precipitation and cloud statistics, ...)
 - validation of the climate models.



History: some key dates

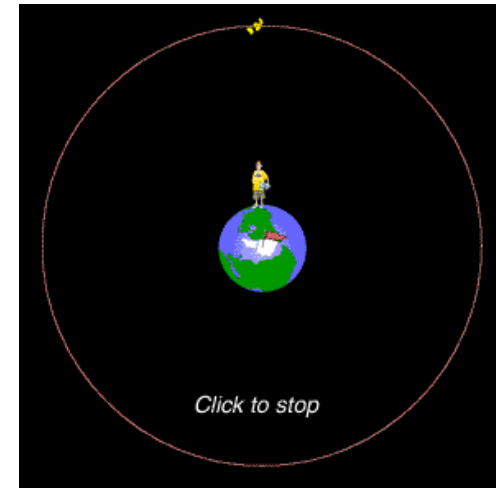
- **1960:** First meteorological satellite TIROS-1 (USA).
- **1963:** Creation of CEMS (Centre d'Etudes Météorologiques Spatiales). In December, the CEMS was the first center in Europe able to receive meteorological satellite images.
- **1974:** First meteorological geostationary satellite SMS-1 (USA).
- **1977:** First European geostationary satellite Meteosat.
- **1986:** Creation of EUMETSAT (Darmstadt – Germany).
- **2002:** First MSG launch (operational in 2004).
- **2006:** First European polar-orbiting satellite MetOp.
- **2014:** Launch of Himawari-8 (JMA).



24th December 1963:
First image received in
Europe (satellite: TIROS-8)

GEOSTATIONARY OBSERVING SYSTEMS (36 000 km from the earth)

- Advantages:
 - Wide space coverage (whole disk)
 - Very high temporal coverage (a few minutes)
 - Particularly suitable for short-range NWP and nowcasting applications
 - Suitable also for meteorological feature tracking
 - (Atmospheric Motion winds)
- Drawbacks:
 - Spatial coverage limited to the disk (need for constellation)
 - Unsuitable to observe the polar regions

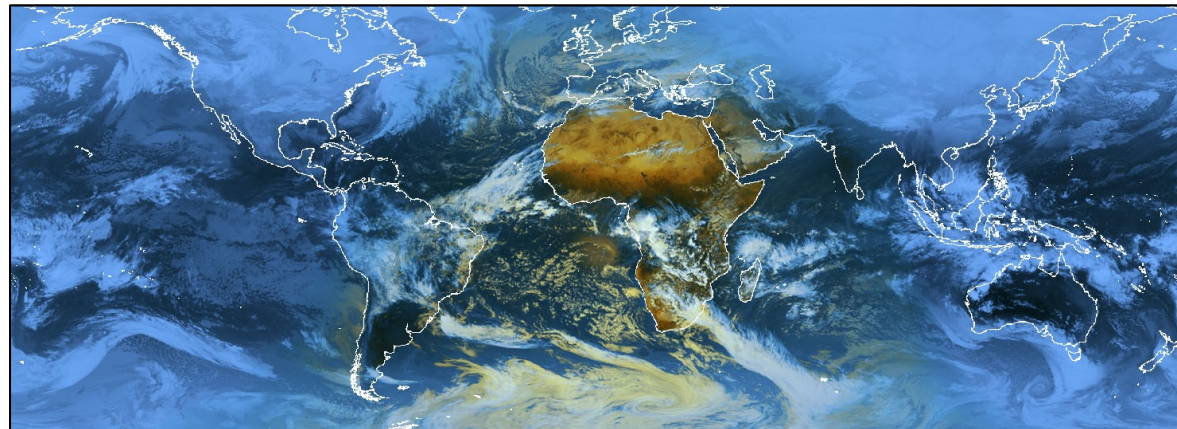
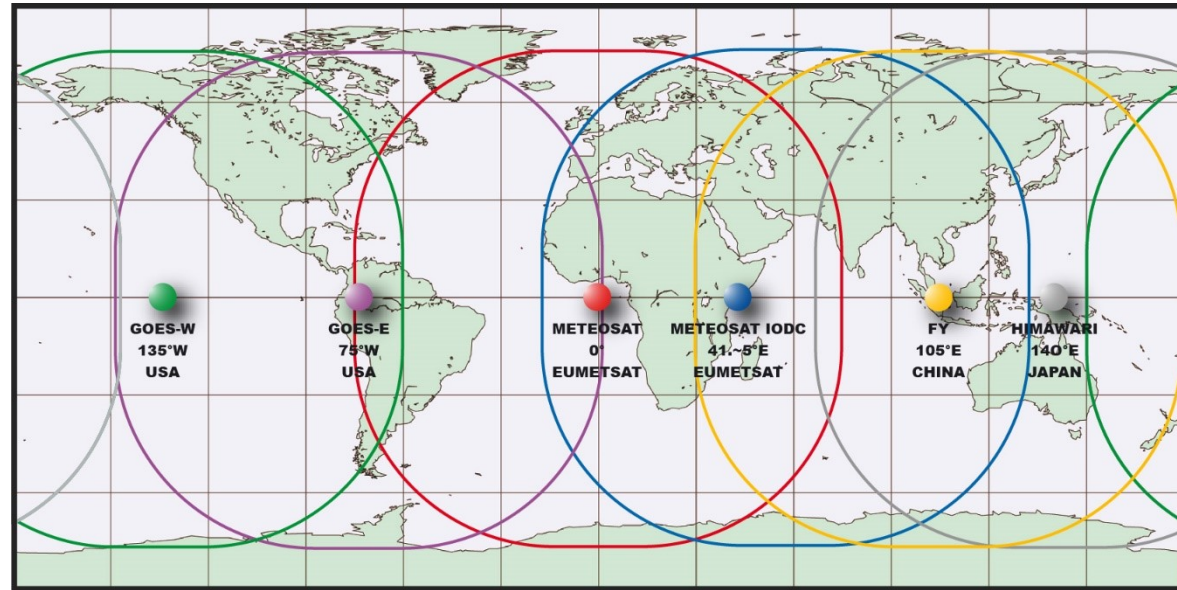


Geostationary satellites

A geostationary satellite is a satellite in geosynchronous orbit, with an orbital period the same as the Earth's rotation period.

It's on a circular orbit at almost 36,000 kilometres above the Earth's equator.

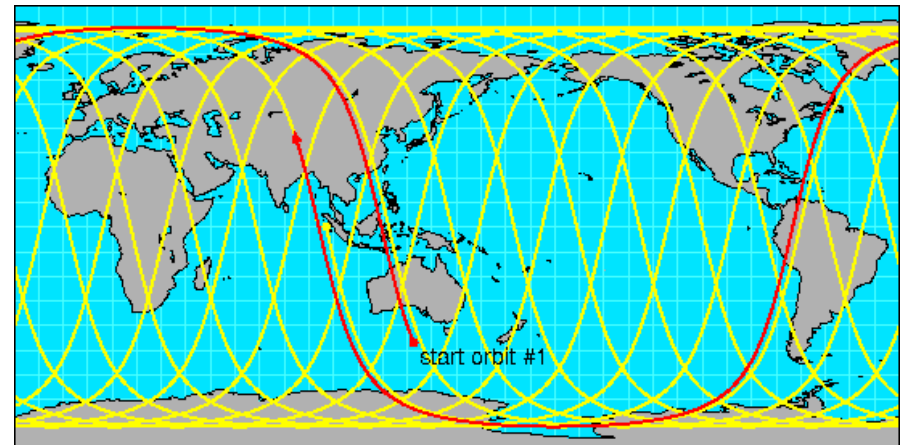
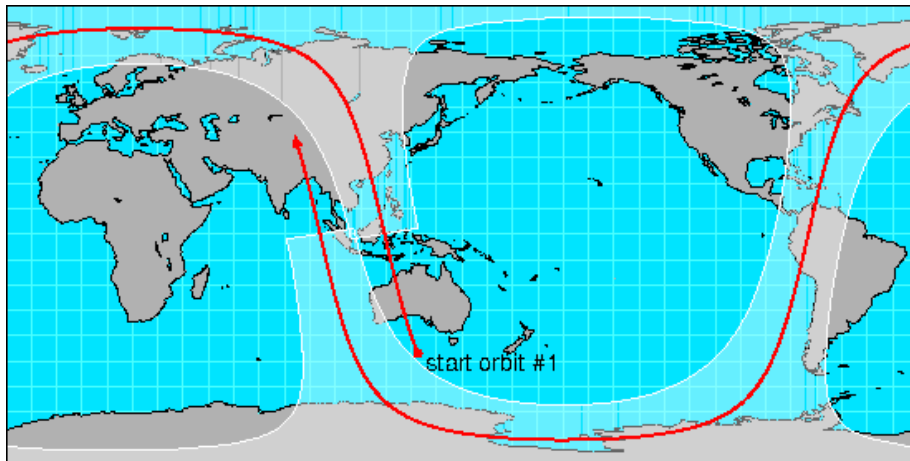
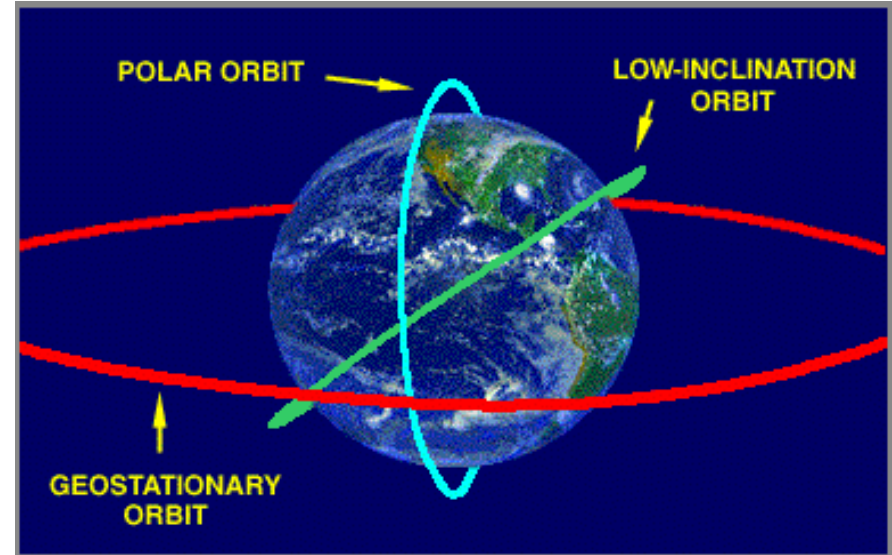
- Useful for animations
- One disadvantage of geostationary satellites is a result of their high altitude with limitations of the spatial resolution of the images.
- Another disadvantage of geostationary satellites is the incomplete geographical coverage. They are blind beyond 65°



Polar orbiting satellites

Polar orbiting satellites:

- altitude: 850 km – image resolution: 1 km
- sun-synchronous
- orbital period: 102 minutes
- fly over the same area twice a day
- are able to observe the polar caps
- payload: imagers, sounders, radars, ...



Low Earth Orbiting OBSERVING SYSTEMS

(400 to 800 km from the Earth)



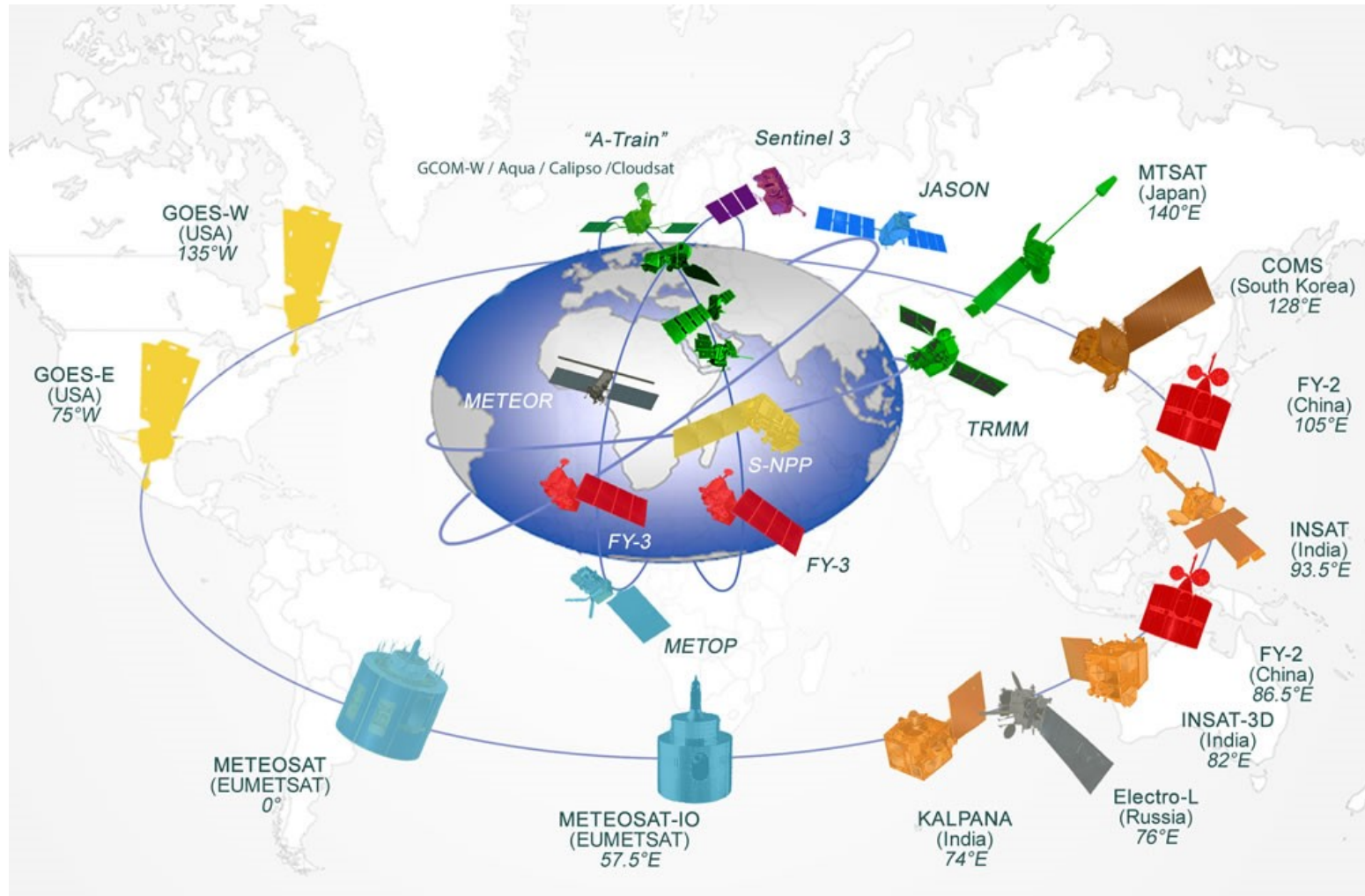
- **Advantages:**

- ◆ Cover the whole earth after several cycles (polar orbiting satellites)
- ◆ More suitable to sound the atmosphere in the microwave spectrum.

- **Drawbacks:**

- ◆ Moderate temporal sampling (several hours to go back to the same point)
- ◆ Requires constellation to ensure a reasonable temporal sampling

The international cooperation

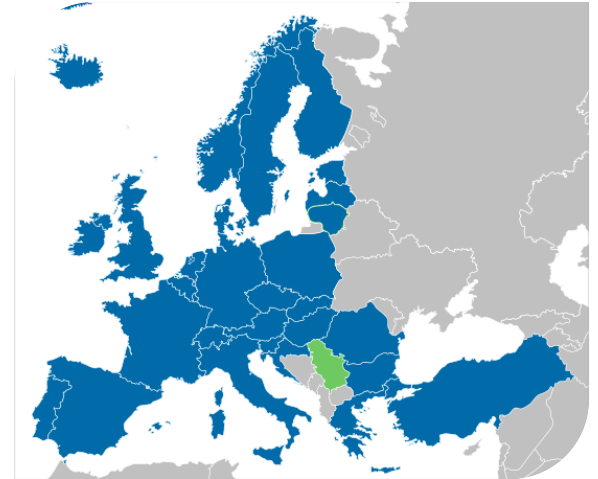


EUMETSAT

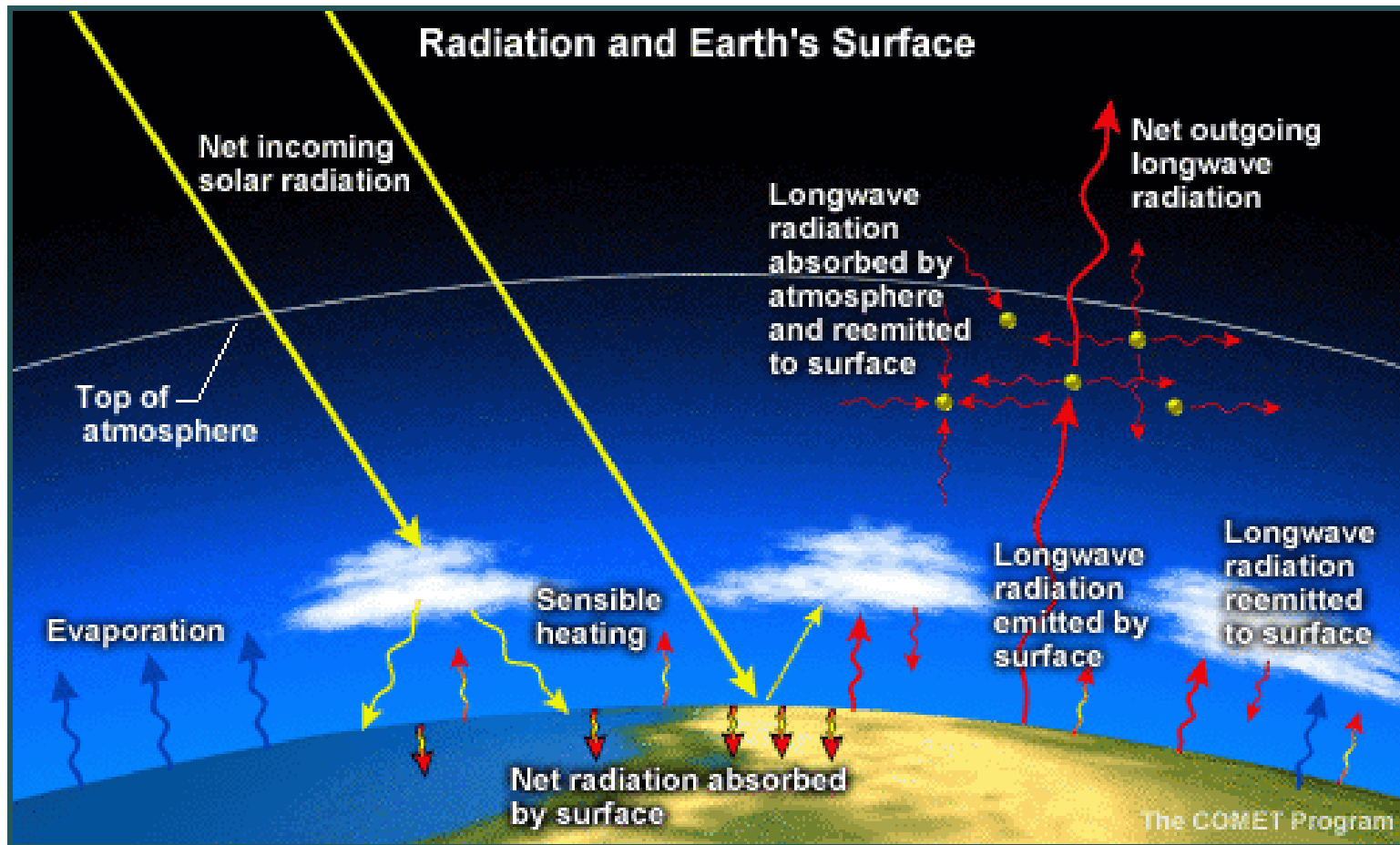
EUMETSAT is an intergovernmental organisation and was founded in 1986. Its purpose is to supply weather and climate-related satellite data, images and products – 24 hours a day, 365 days a year – to the National Meteorological Services of its Member and Cooperating states in Europe, and other users worldwide.

Currently a total of **30 member states** and **one cooperating state** (Serbia) are a part of EUMETSAT, and the organisation continues to grow.

Member States and Cooperating States have full access to data and services, but only Member States are represented in the supreme decision-making body of the organisation, the Council.



What do satellite instruments measure?



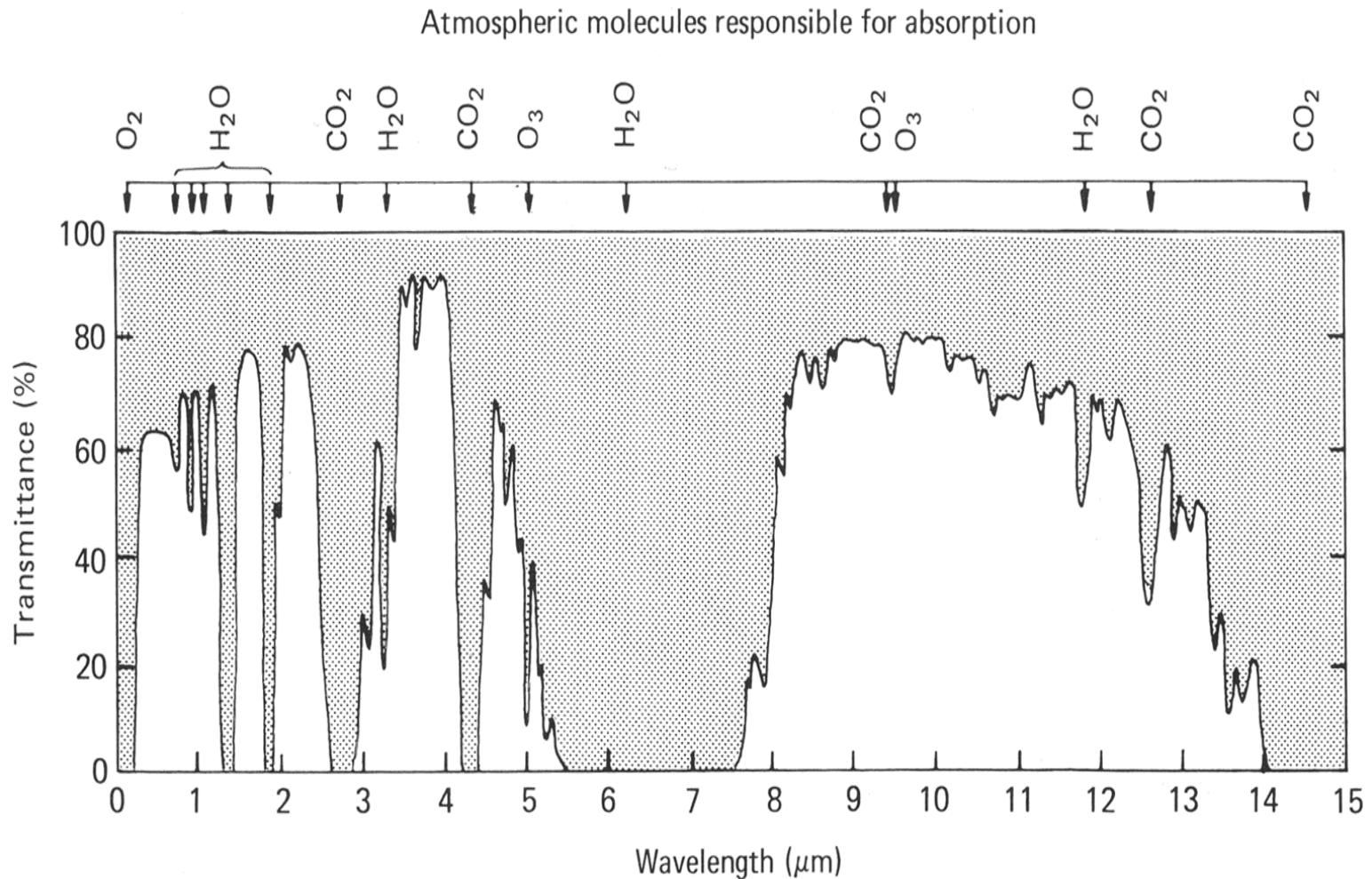
What do satellite instruments measure?

- Satellite instruments are specific in that **they do not measure directly geophysical quantities** (temperature, moisture, ozone, wind,...)
- Satellite instruments measure the radiation emitted by the Earth/Atmosphere
- The conversion of this measurement into a geophysical information is an **inverse** problem
- Data assimilation techniques try to solve this inverse problem as “optimally” as possible

Three ways of sensing the Earth/Atmosphere

- **Passive technologies**
 - ♦ **Passive instruments sense the:**
 - natural radiation emitted by the Earth/Atmosphere
 - solar radiation reflected by the Earth/Atmosphere
- **Active technologies**
 - ♦ **Active instruments:**
 - Emit radiation towards the Earth/Atmosphere
 - Sense how much is scattered (or reflected) back
- **GPS technologies**
 - ♦ **GPS receivers:**
 - Measure the phase delay of a GPS signal when refracted through the atmosphere

Trasmittanza: frazione di radiazione incidente ad una data lunghezza d'onda che attraversa un campione



Passive technologies

- “Imaging” instruments
 - ♦ Sense in spectral “window” regions where the atmosphere is close to transparent, therefore sense essentially the surface emission
 - ♦ Provide indirectly information on:
 - VIS/IR: surface temperature, cloud top, wind (through cloud motion), snow/ice, vegetation
 - μW : surface ocean wind speed, sea-ice, total column water vapour, cloud liquid water, rain
 - ♦ Vis/IR instruments: AVHRR on NOAA, MODIS on TERRA/AQUA, GOES+METEOSAT/MSG,...
 - ♦ Microwave instruments: SSM/I on DMSP, TMI on TRMM, AMSR on AQUA and ADEOS-2,...

Passive technologies

- “sounding” instruments
 - ♦ Sense in spectral regions where the contribution from the surface is negligible (strong atmospheric absorption bands)
 - ♦ Provide indirectly information on:
 - IR: profiles of temperature-humidity-ozone, surface temperature (limited to non cloudy areas)
 - μW : temperature and humidity profiles (limited to non rainy areas)
 - ♦ IR instruments: HIRS on NOAA, AIRS on AQUA, GOES,...
 - ♦ Microwave instruments: AMSU-A, AMSU-B on NOAA,...

Sounders: vertical profiles from satellite

- **Measure the “spectrum” – think of rainbows!**
- **The atmosphere absorbs radiation in discrete bands**
- **Strong absorption = information at high altitudes**
- **Weak absorption = information at low altitudes**
- **Many bands = vertical profile**

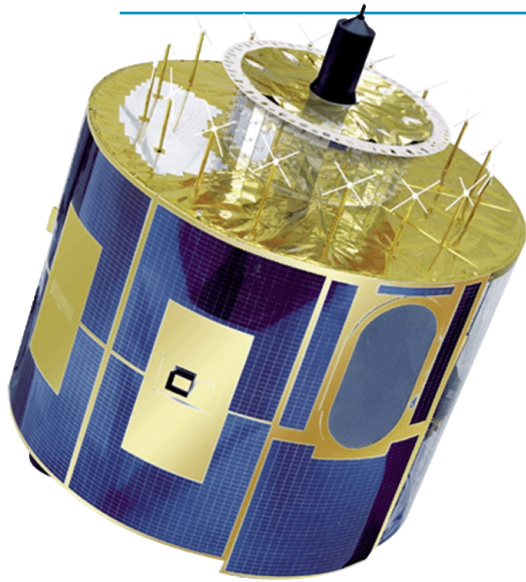
- **Long and at first difficult history**
- **Now the “backbone” of the observing system**

Active technologies

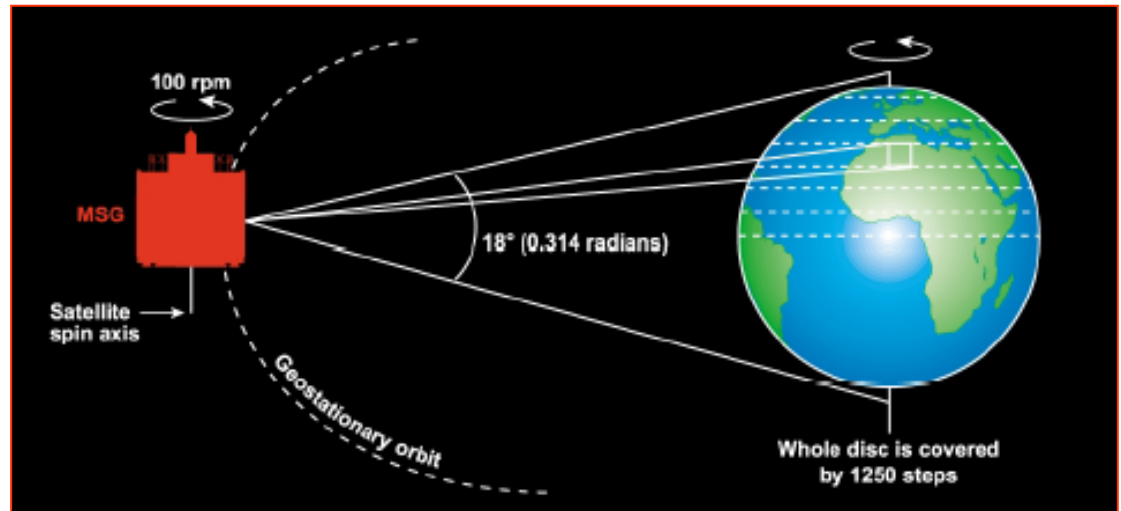
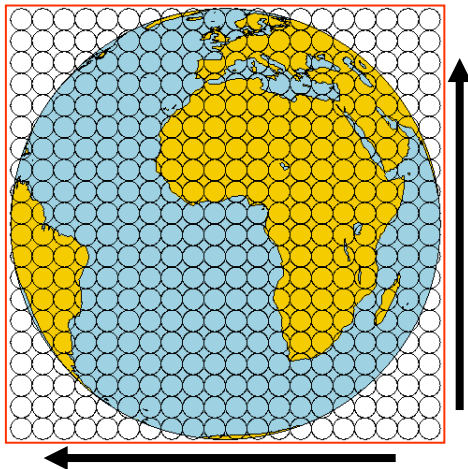
- **Active instruments**

- ◆ **Send radiation to a target (Earth/Atmosphere) and measure what is back reflected/scattered.**
- ◆ **Provide indirectly information on:**
 - **Surface wind (scatterometers, radar altimeter)**
 - **Sea surface height, wave height and spectra (altimeters, SARs)**
 - **Rain, cloud, winds and aerosol profiles (radars, lidars)**
 - **Atmospheric wind profiles (Doppler lidars)**
 - **Moisture profiles (DIALS)**
- ◆ **TRMM-PR, ERS-2 (Scat/RA/SAR), SeaWinds on QuikScat and ADEOS-2, ENVISAT (RA-2, ASAR)**

Meteosat Second Generation



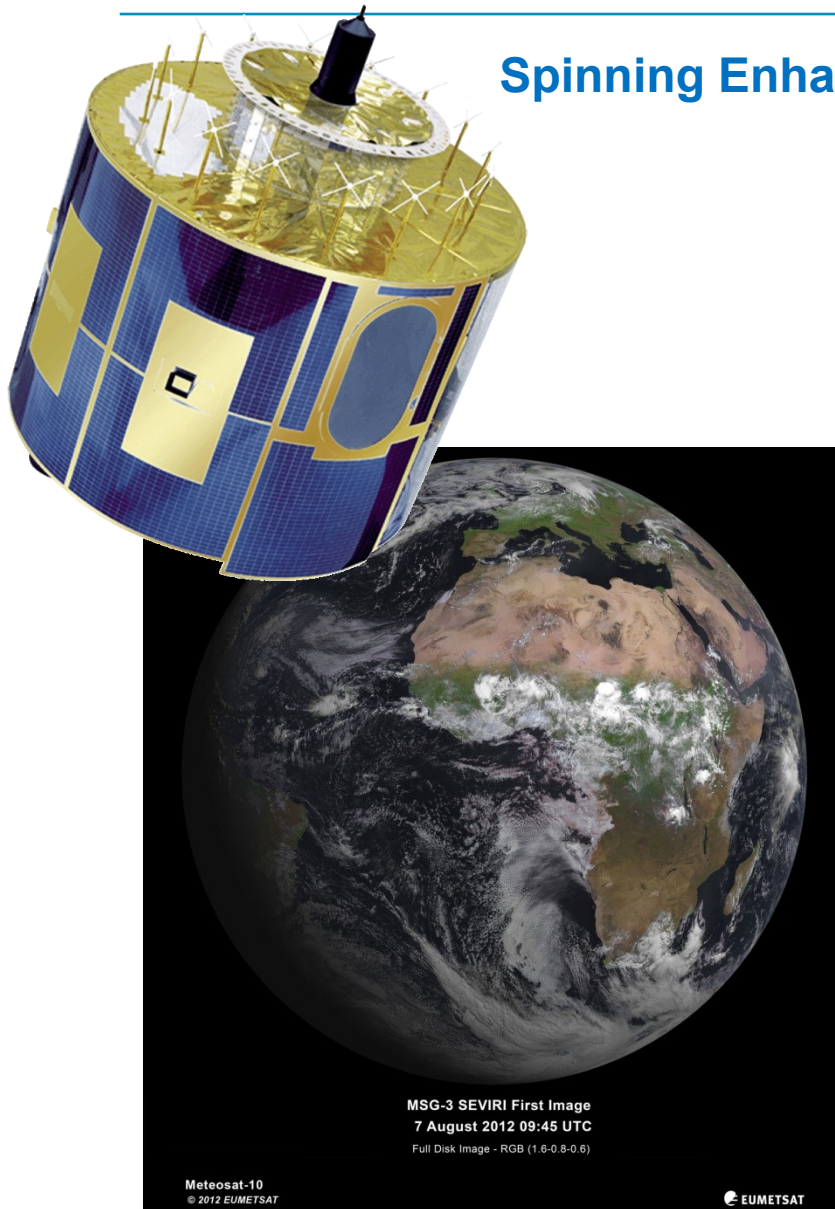
Diameter	3,22 m
Mass	2010 kg
Stabilization	Spin-stabilized (100 revolutions / min)
Operational lifetime	7 ans
Imaging cycle	15 minutes



Images are built from the East to the West and from the South to the North. 1250 revolutions in 12 min 30 s.

Meteosat Second Generation

Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI)

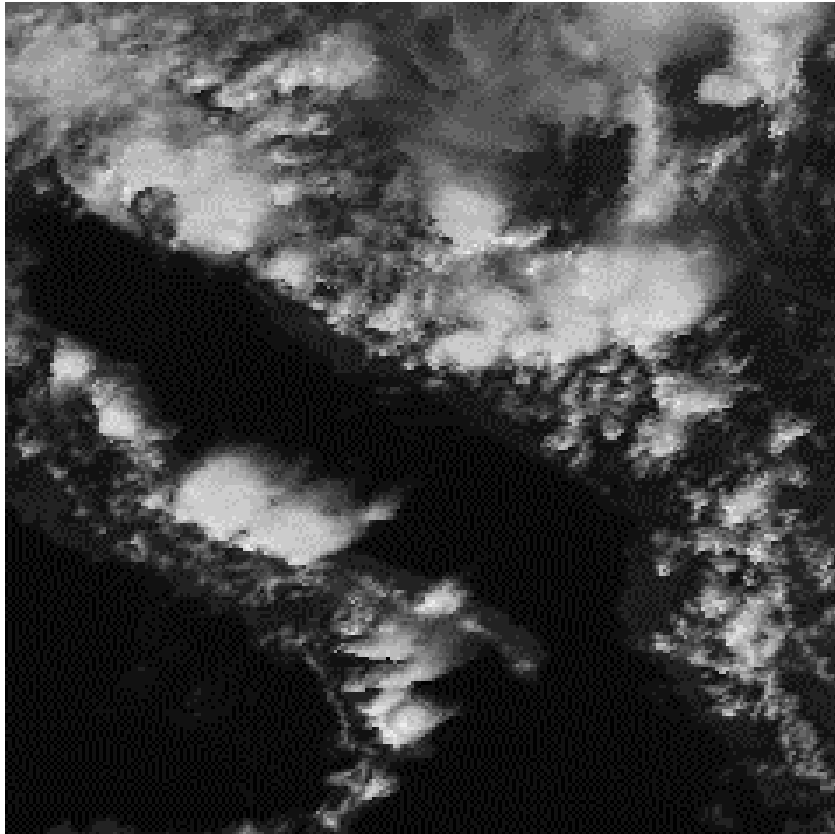


Channel	Bandwidth (μm)	Resolution
HRV	0.50 – 0.90	1 km
VIS 0.6	0.56 – 0.71	3 km
VIS 0.8	0.74 – 0.88	3 km
NIR 1.6	1.50 – 1.78	3 km
IR 3.9	3.48 – 4.36	3 km
IR 6.2 (WV)	5.35 – 7.15	3 km
IR 7.3 (WV)	6.85 – 7.85	3 km
IR 8.7	8.30 – 9.10	3 km
IR 9.7	9.38 – 9.94	3 km
IR 10.8	9.80 – 11.80	3 km
IR 12.0	11.00 – 13.00	3 km
IR 13.4	12.40 – 14.40	3 km

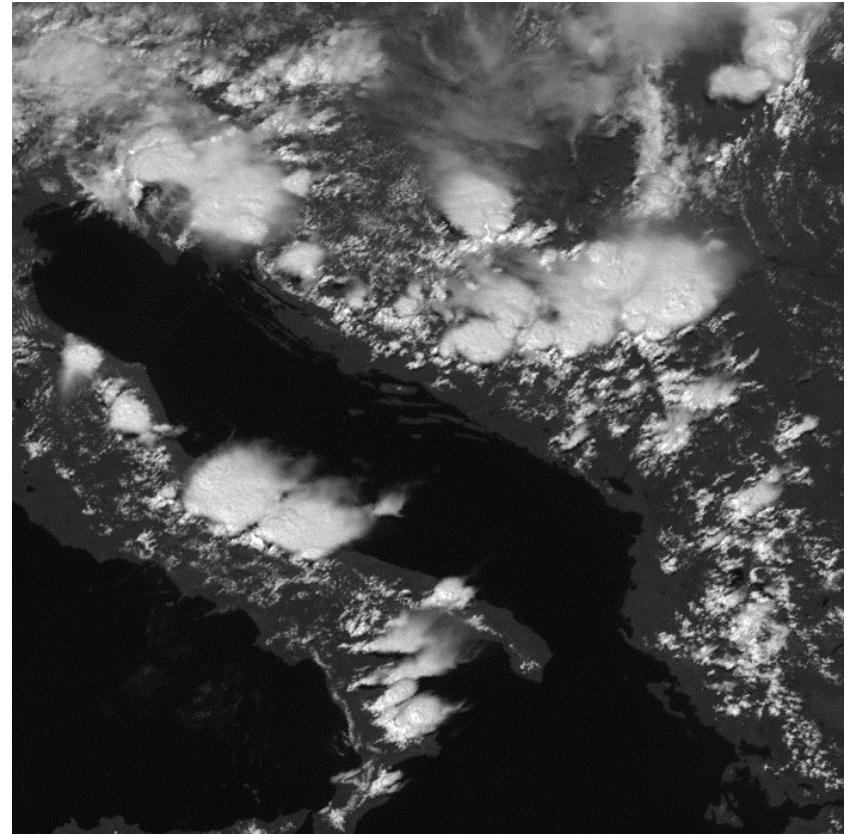
Spatial resolution

For 11 channels, the spatial resolution is 3 km → 3712 x 3712 pixels

For the HRV, the spatial resolution is 1 km → 11136 x 11136 pixels

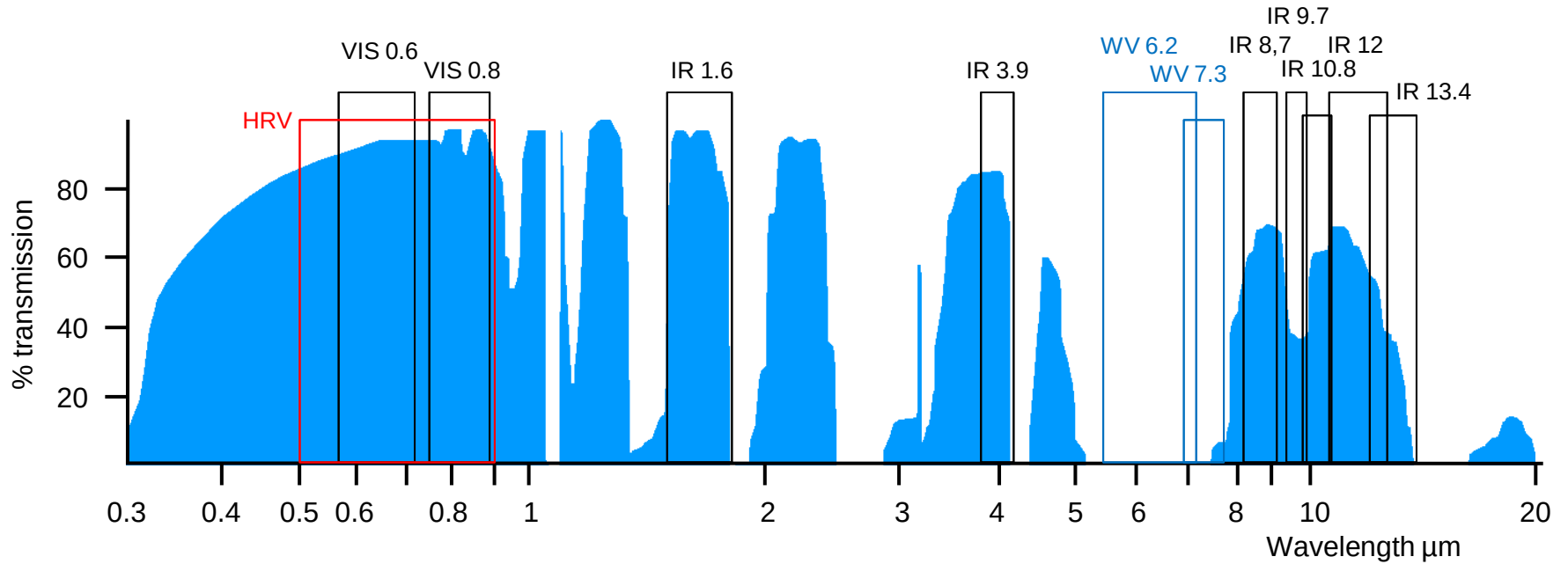


VIS 0.6 μm



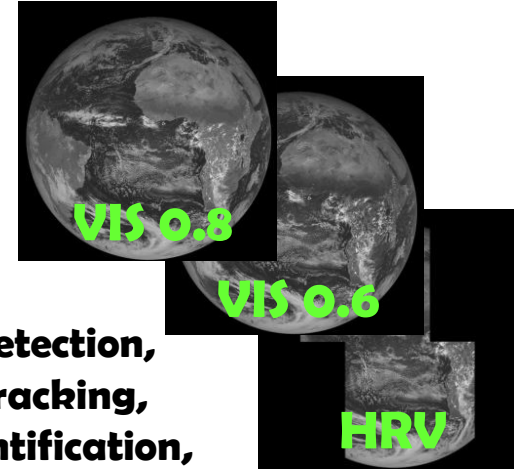
HRV

MSG: 12 channels in VIS and IR bands



Canali MSG

ozone
lower
strat



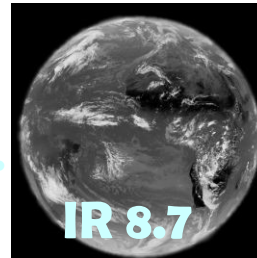
cloud detection,
cloud tracking,
scene identification,
land surfaces,
vegetation indices

split-window thermal
infrared channels, temp of
cloud/ surface, cloud
tracking, atmospheric winds,
atmospheric instability

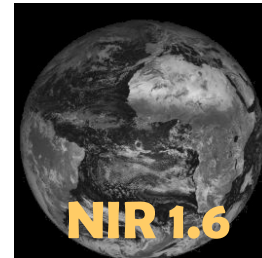


CO2 absorption,
atmospheric
instability,
lower trop temp,
atm motion

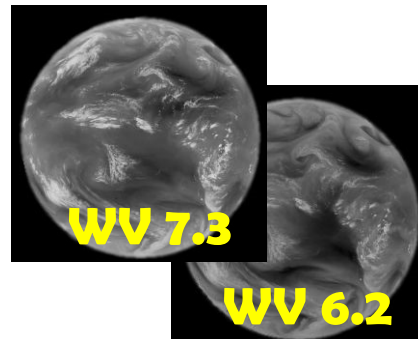
thin cirrus clouds,
ice vs water clouds.



Snow vs cloud, ice vs
water clouds, aerosol



mid and low
atm Water
Vapour, tracers
for
atmospheric
winds.

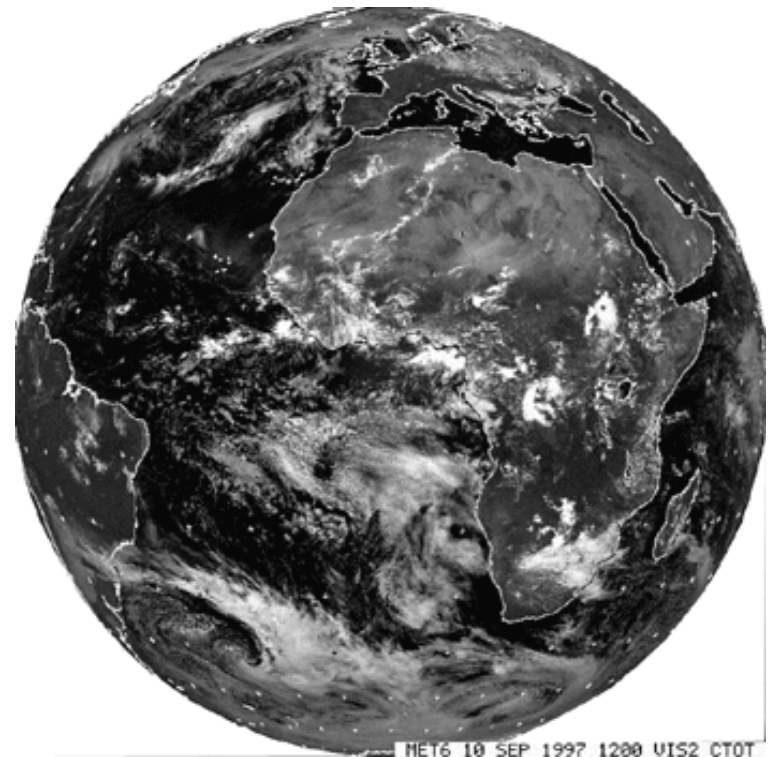
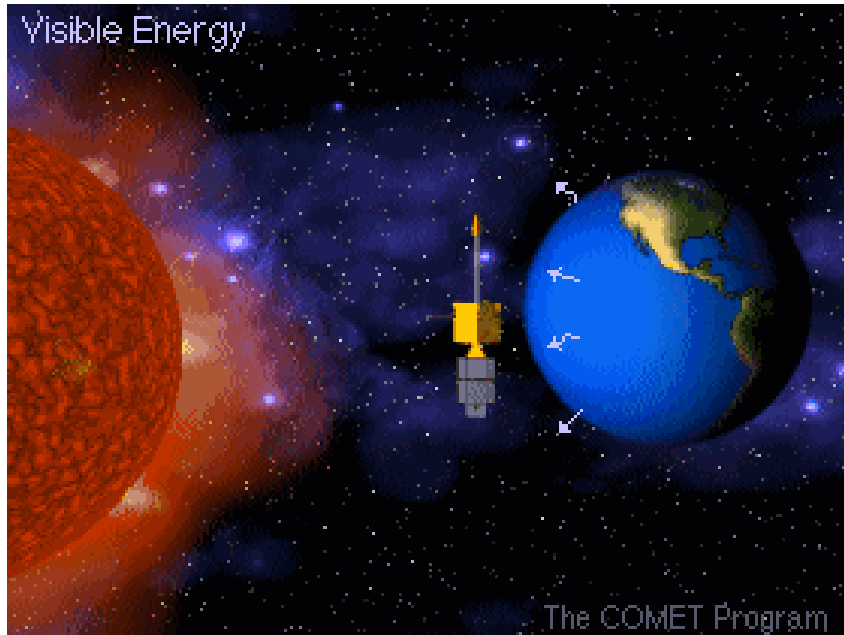


low cloud;
@night:: fog and
land/sea temp., forest
fires, low level atm
motion vectors over
sea.



Visible Channel (VIS)

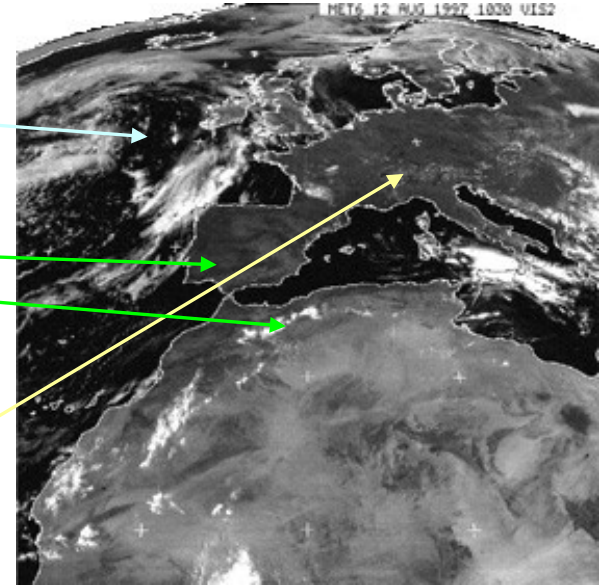
In the visible spectrum the detectors of any satellite receive the **reflected solar radiation from the earth and atmosphere** during the daylight.



Visible Channel (VIS)

Water appears uniformly dark, due to the low albedo below 10%

- In general, land surfaces appear brighter than the sea but darker than clouds. The albedo of land surfaces, however, varies widely, depending on the type of surface (look at Africa and the Iberian Peninsula). Dense clouds as well as snow and ice have a high albedo and thus are bright features in the VIS-image.



- Small clouds may not be visible in the image at all. They invoke, however, a brighter appearance of originally dark surfaces.

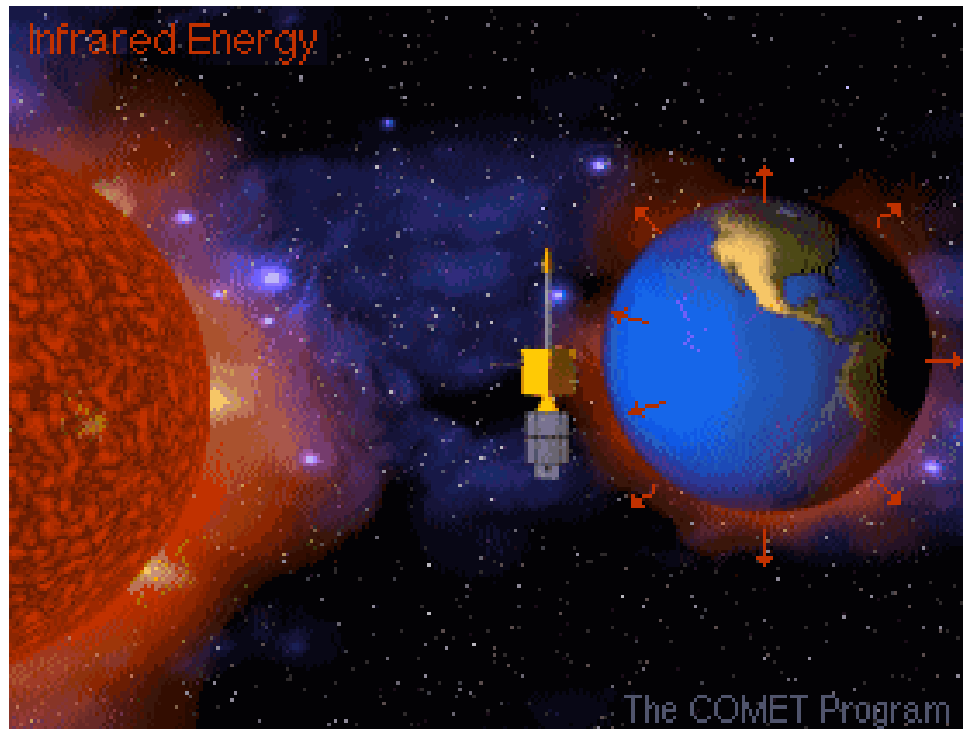
Only when the sun casts a shadow of an upper layer cloud onto a lower layer cloud, we can distinguish the layered character of a frontal cloud mass. Generally the IR channel is more suitable to detect the layered character.



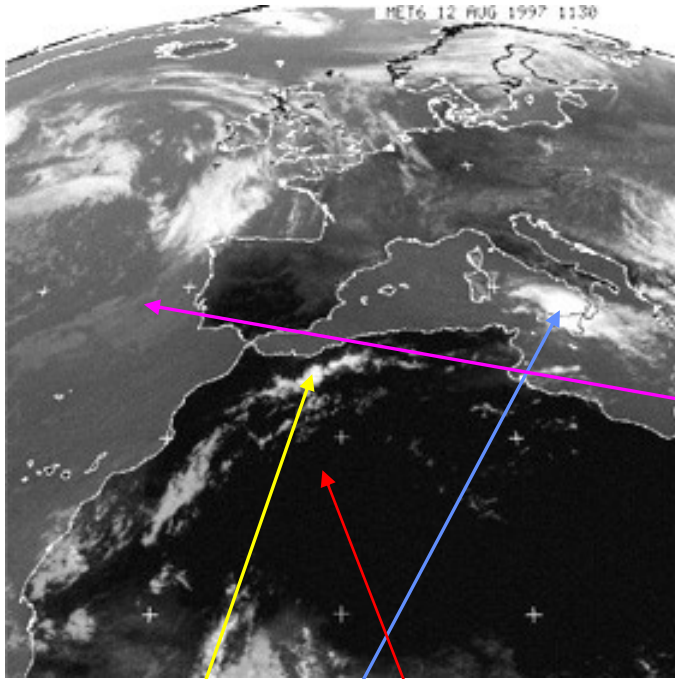
Remember: VIS imagery is useful for distinguishing between sea, land and clouds during daytime.

Infra-red channel

The infrared channel of any meteorological satellite covers the so called thermal atmospheric window, where most of the radiation is emitted into space and only little absorption by atmospheric gases occurs. The satellite detector **receives the thermal radiation of the earth's surface and of the upper sides of clouds**. This channel continuously provides images throughout days and nights.



Infra-red channel

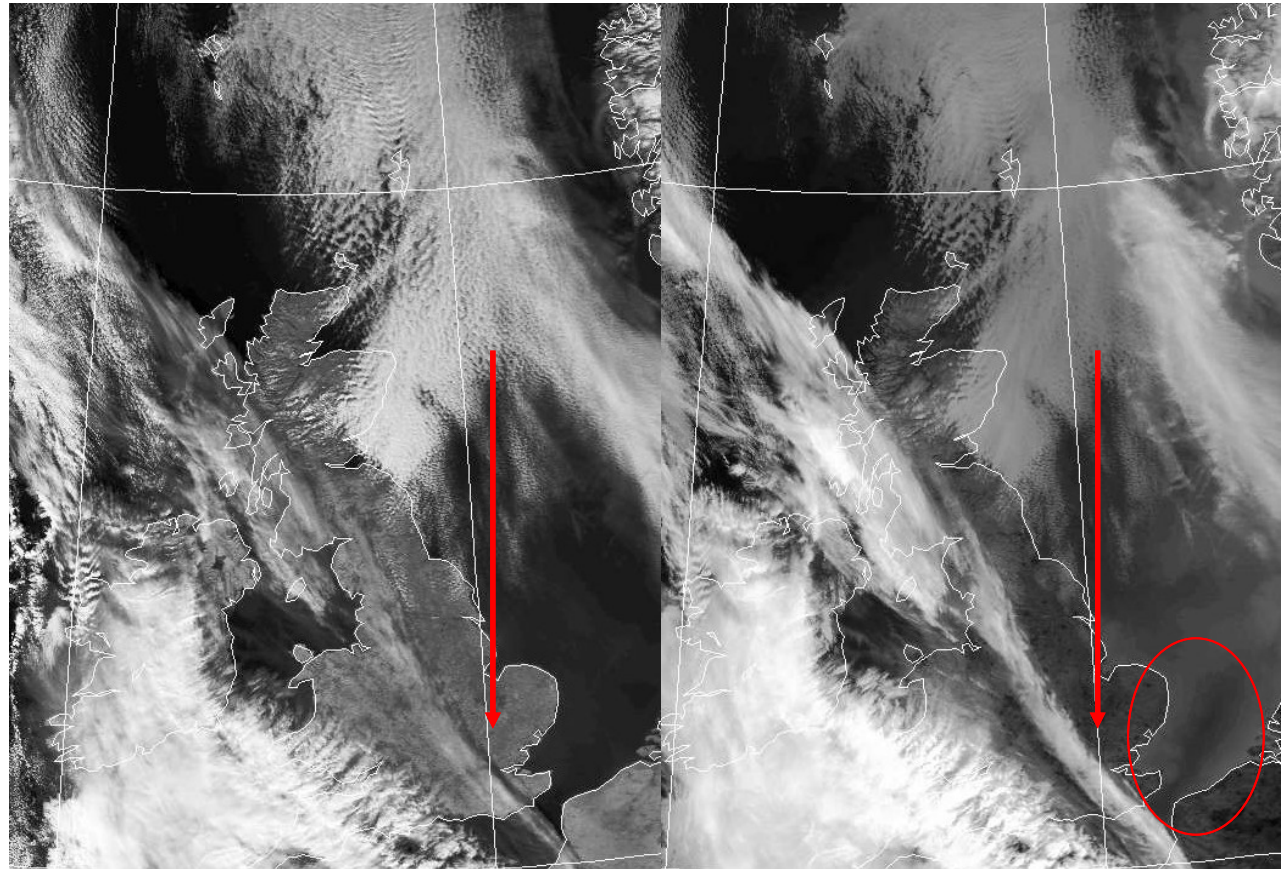


- The relatively warm surface or low clouds are represented by a darker signal.
- High clouds are colder than the surface and therefore appear white.
- Cirrus cloud exhibit temperatures below -35°C . They are, due to the low temperature, better visible in the infrared images than in the visible images where the clouds are semi-transparent.

Confronto VIS-IR

Le nubi alte e sottili sono molto più evidenti nell'immagine IR, sensibile alla temperature delle superfici emittenti.

Per lo stesso motivo nell'IR è possibile osservare una zona di acqua più calda nel Canale della Manica

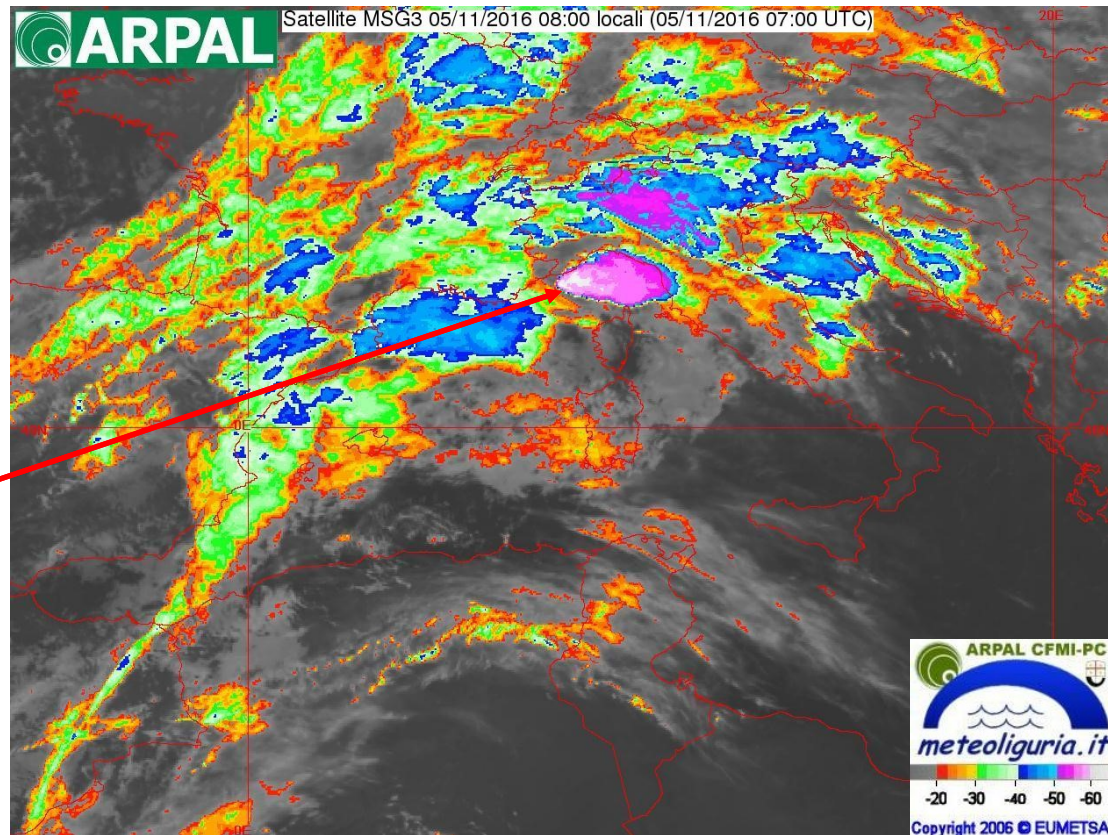


VIS

IR

Enhanced IR a falsi colori

Temperatura delle superfici emittenti (anche di notte)

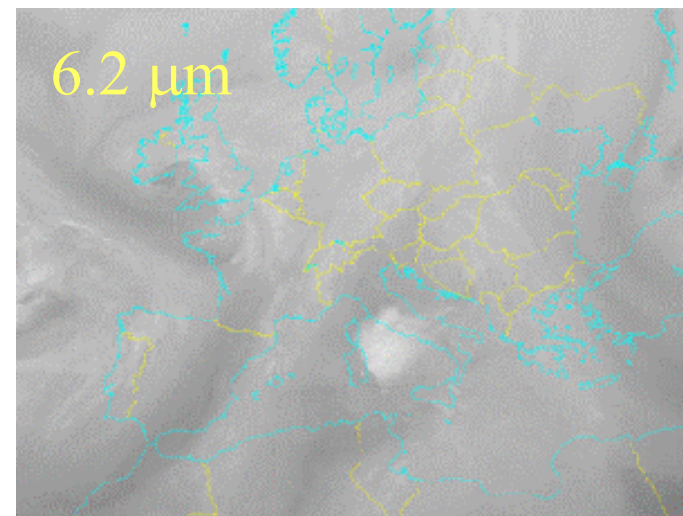
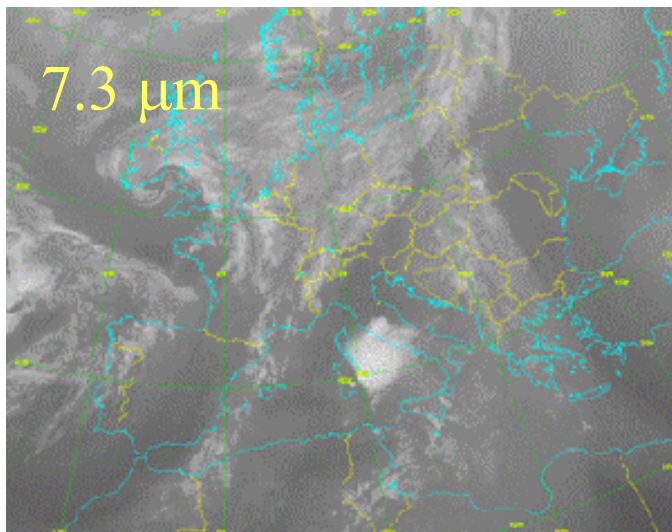


Nubi con
temperature
attorno ai $-60^{\circ} C$

Scala di
temperature

I due canali del vapore acqueo (6.2 e 7.3 micron)

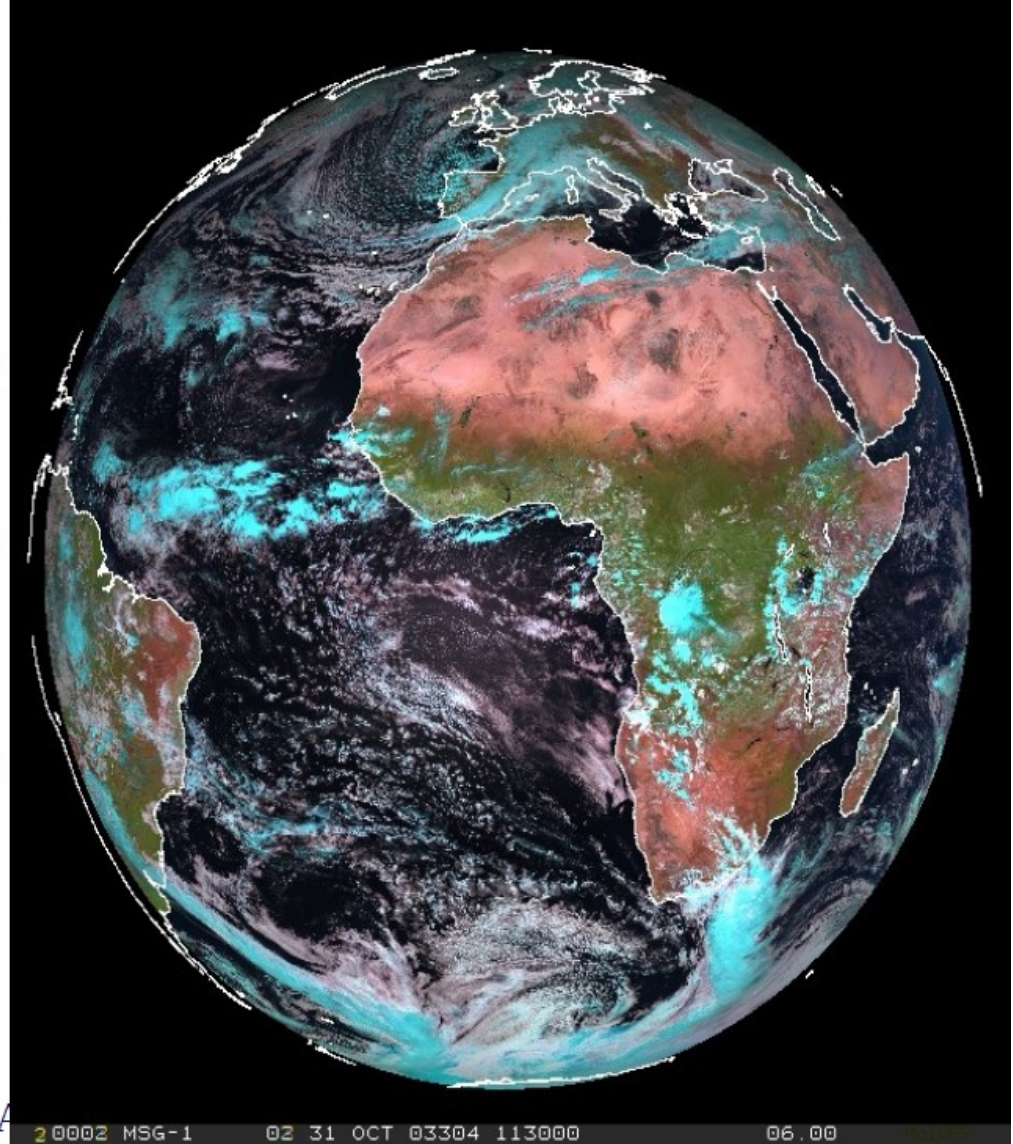
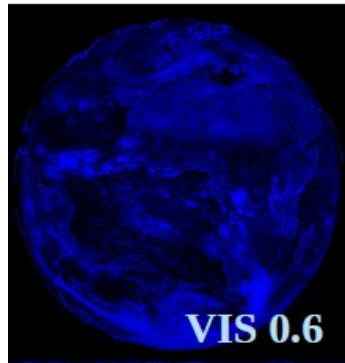
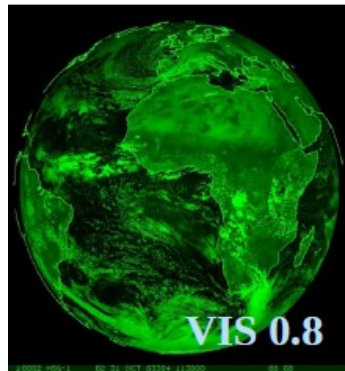
- In queste bande il vapore acqueo atmosferico assorbe, in tutto o in parte, la radiazione emessa dal suolo o dal mare sottostanti. Poiché ogni corpo che assorbe ad una data lunghezza d'onda emette alla medesima lunghezza d'onda, il vapore acqueo atmosferico emette radiazione che è misurata da MSG in questi due canali
- a 6.2 micron l'assorbimento da parte del vapore acqueo atmosferico è maggiore che a 7.3 e l'immagine generalmente presenta toni più chiari
- il canale a 6.2 micron fornisce informazioni di umidità su livelli atmosferici medio alti (> 5000 m), quello a 7.3 micron su livelli medio bassi (3000-5000 m)
- possibilità di individuare le anomalie di tropopausa («macchie scure», intrusioni di aria secca stratosferica) e le correnti a getto in alta quota



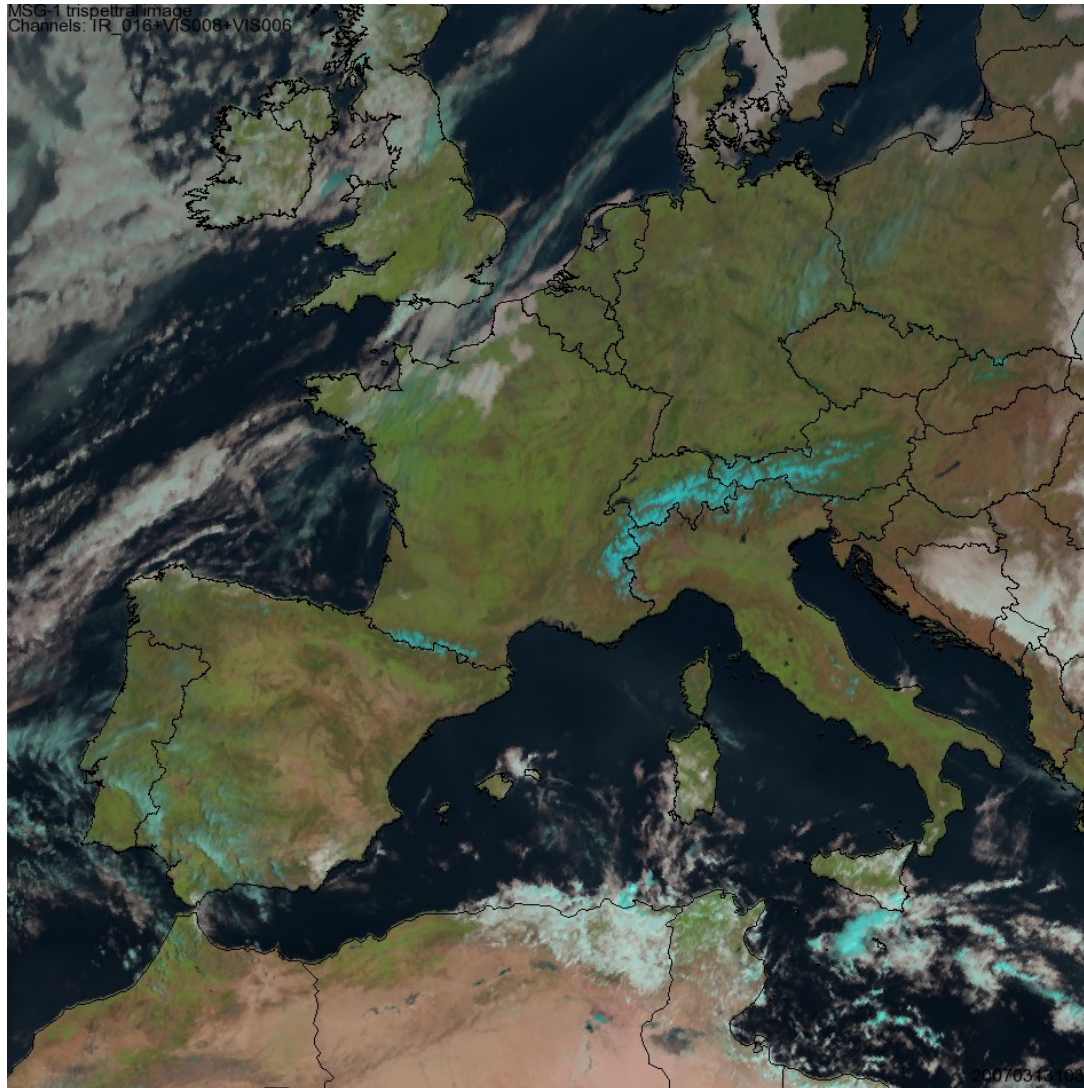
Immagini multispettrali RGB

R=rosso, G=verde,
B=blu: i tre colori
fondamentali con cui
si possono ottenere
tutti gli altri.

Assegnando ad
ognuno di questi tre
colori una
banda di MSG, si
ottengono immagini
a colori che
forniscono maggiori
informazioni sui tipi
di nubi e di suolo



Immagini tri-spettrali MSG



Day Natural Colors

VIS006+VIS008+IR016

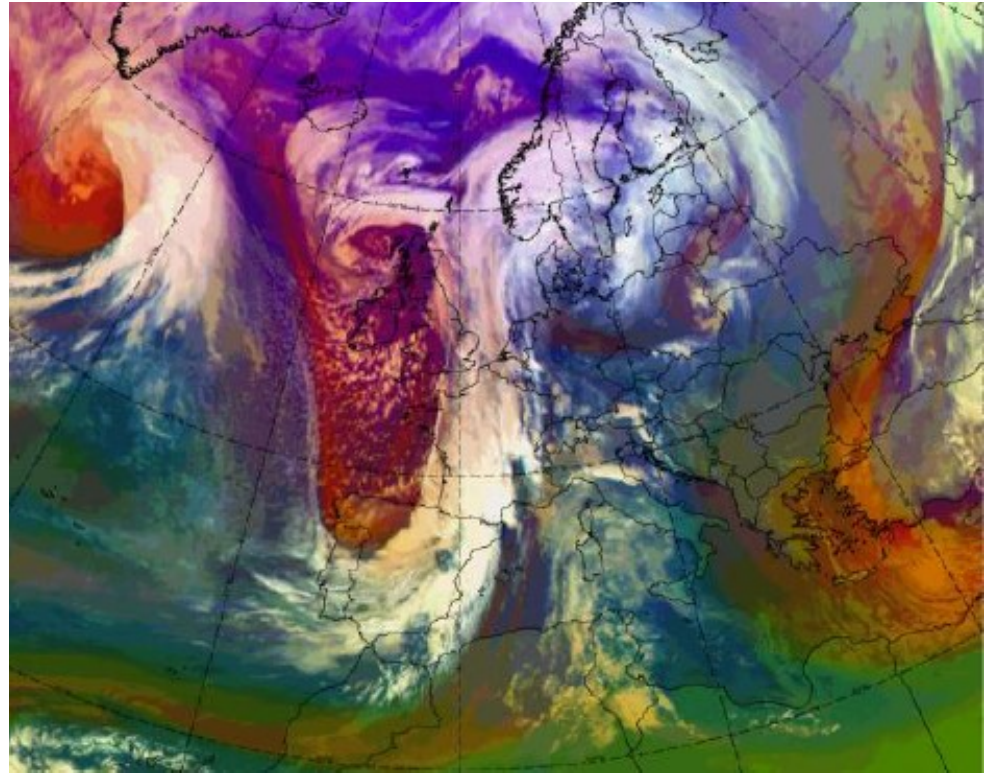
Distingue vegetazione e zone aride; le nubi basse appaiono con un rosa pallido; le zone coperte di neve appaiono in ciano, da non confondere con l'azzurro più acceso delle nubi alte e fredde.

Airmass RGB

Airmass

(WV062WV073)+(IR097IR108)+WV062

Consente di distinguere i tipi di nubi (in bianco quelle alte, in tonalità arancioni e tendenti al verde scuro quelle medie e basse) e anche le differenti masse d'aria. In verdino è visualizzata l'aria calda, in blu quella fredda; le masse d'aria associate ad alta vorticità potenziale PV e ad anomalie di tropopausa sono in rosso.

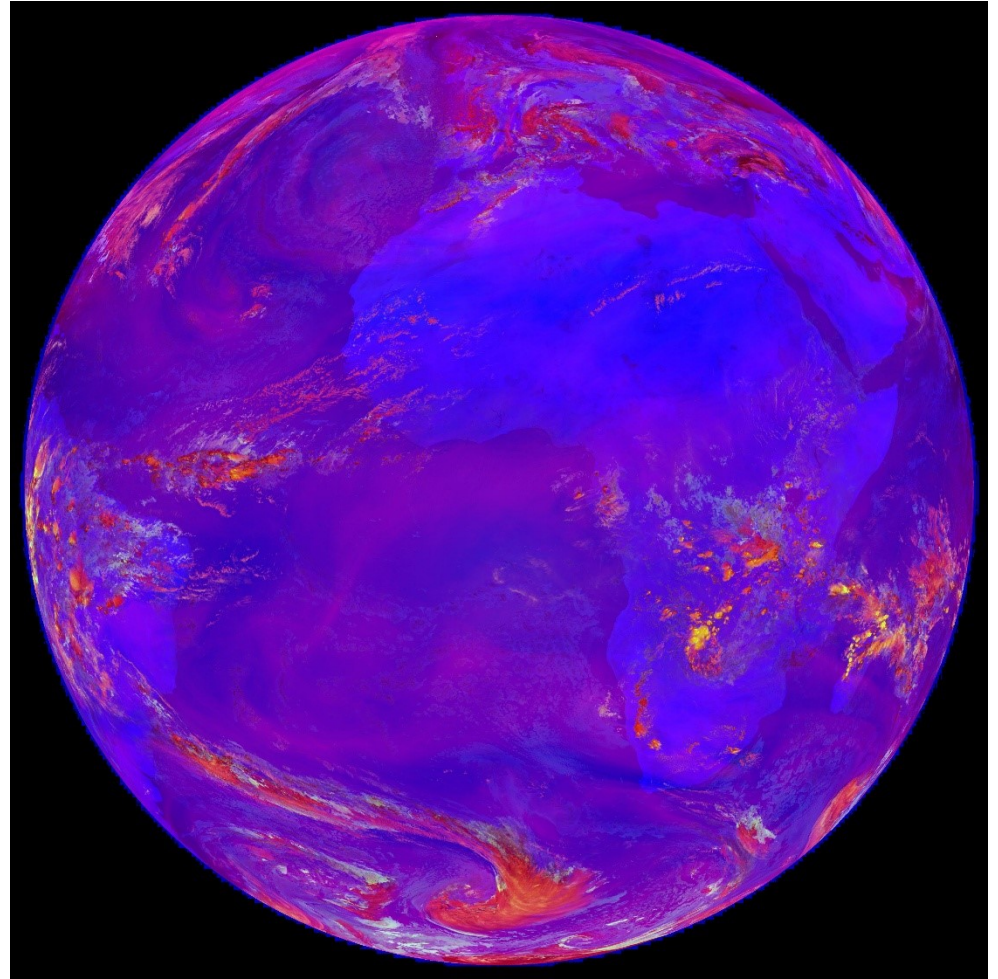
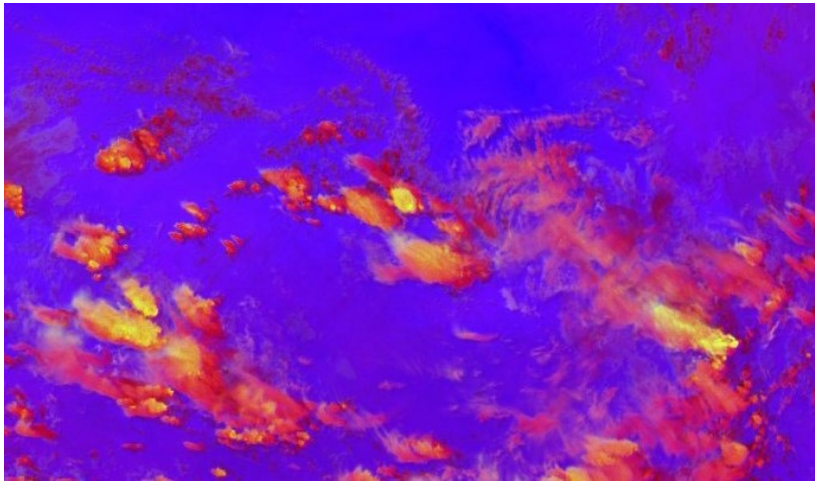


7 febbraio 2016

Convection RGB

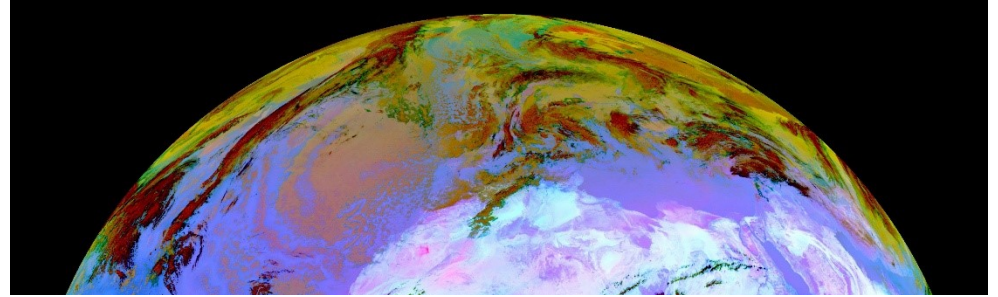
Severe convective storms appear bright. The strong updrafts in these clouds produce small ice particles at cloud tops due to homogeneous freezing of cloud drops.

Combination of SEVIRI channels
VIS0.6, NIR1.6, IR3.9, WV6.2,
WV7.3 & IR10.8

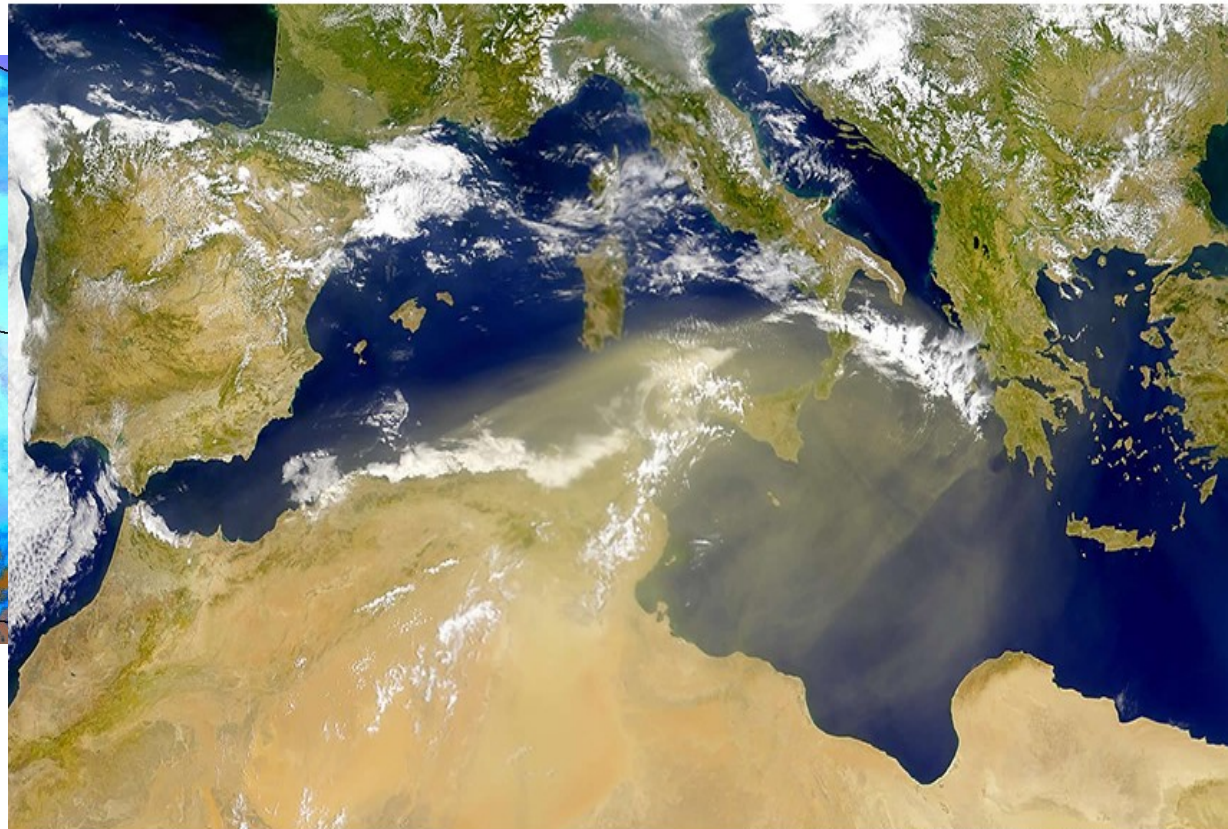
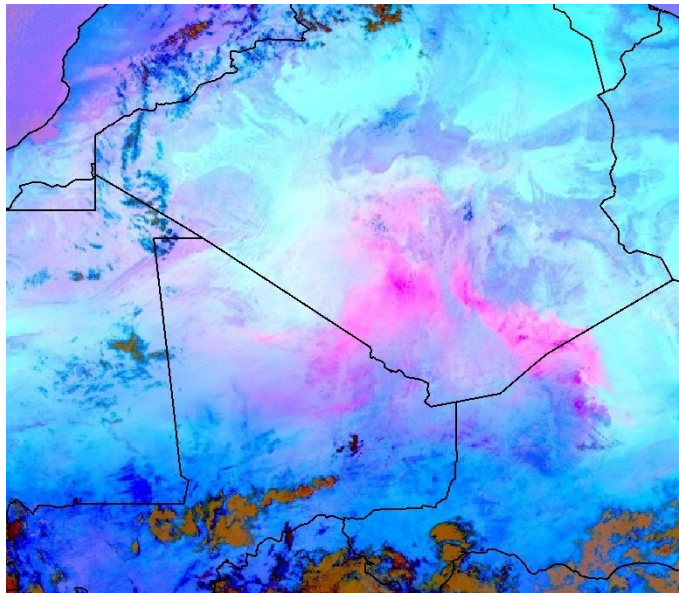


Dust RGB

Dust is an RGB composite based upon infrared channel data from the MSG satellite. It is designed to monitor the evolution of dust storms during both day and night. The dust RGB is composed from data from a combination of the SEVIRI IR8.7, IR10.8 and IR12.0 channels.

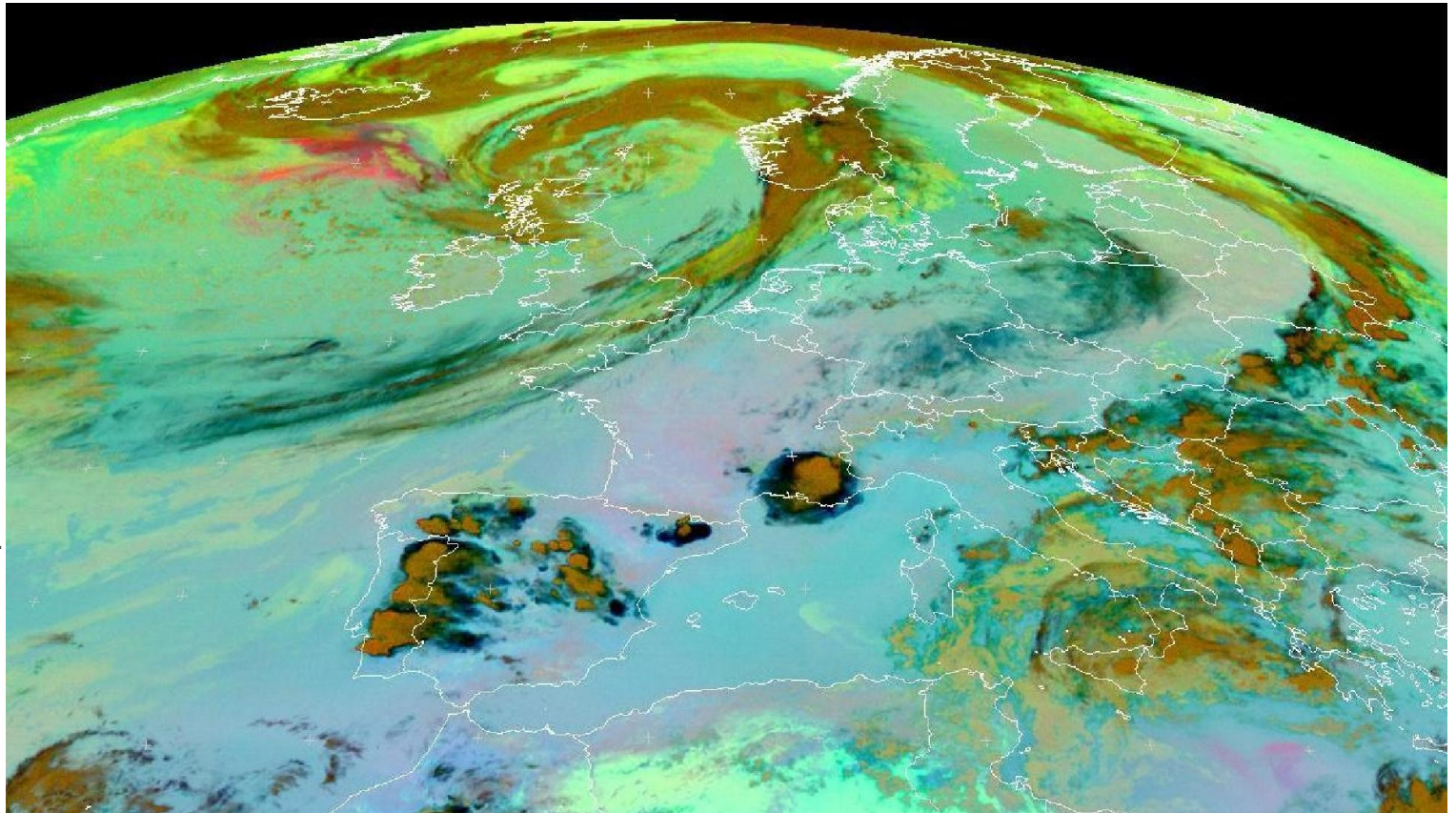


SeaWiFS True Color Image 18 Jul 200



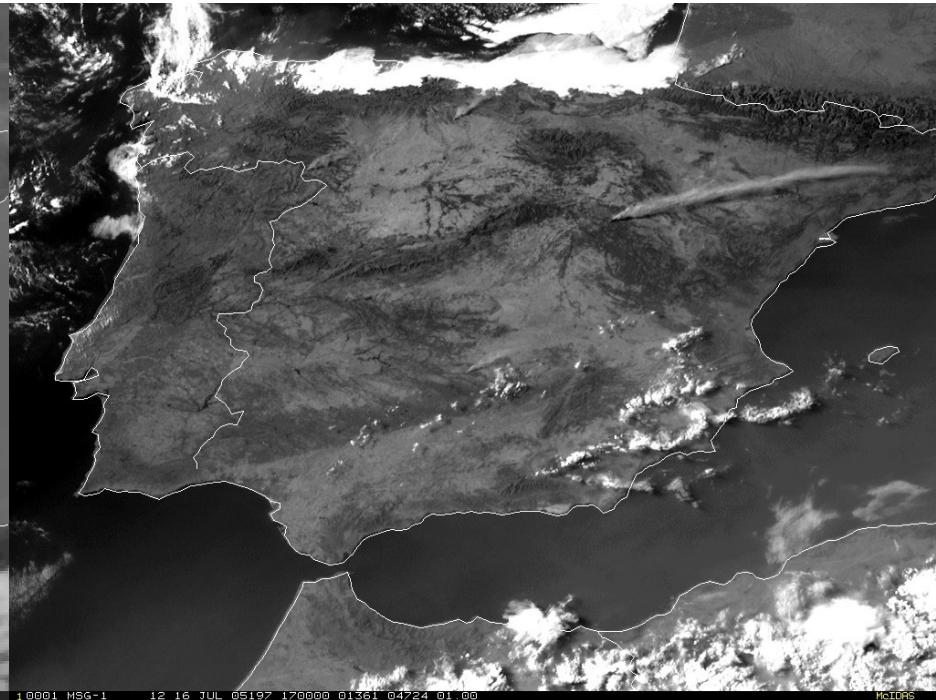
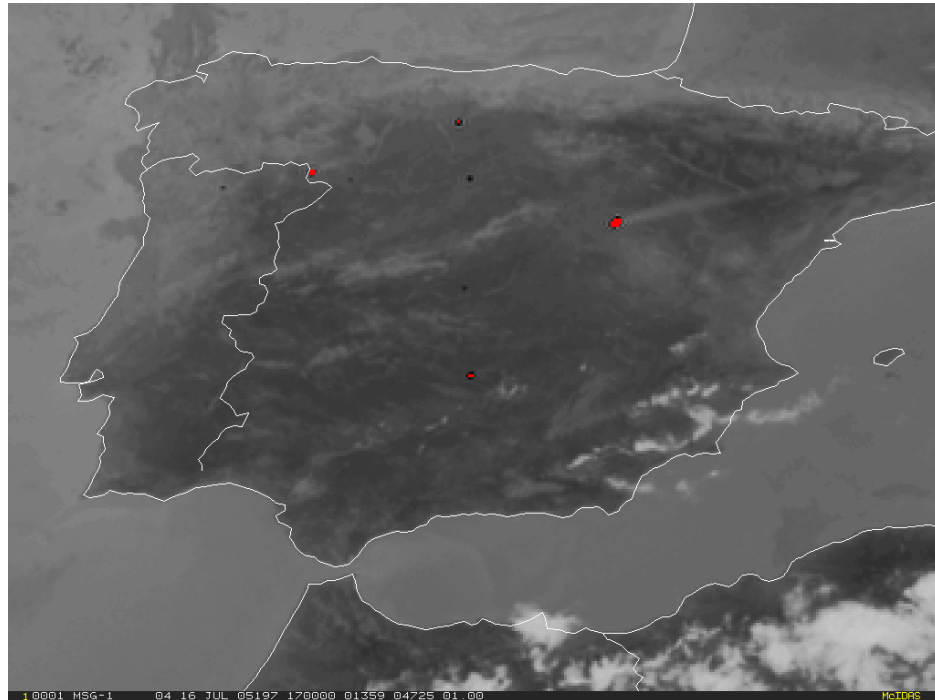
Grimsvötn volcanic eruption – Ash RGB

23rd may 2011
19h00 UTC



Ash is an RGB composite based upon infrared channel data from the MSG satellite. It is designed to detect ash and sulphur dioxide (SO₂) from volcanic eruptions which can be used for the provision of warnings to aviation authorities. The Ash RGB is composed from data from a combination of the SEVIRI IR8.7, IR10.8 and IR12.0 channels.

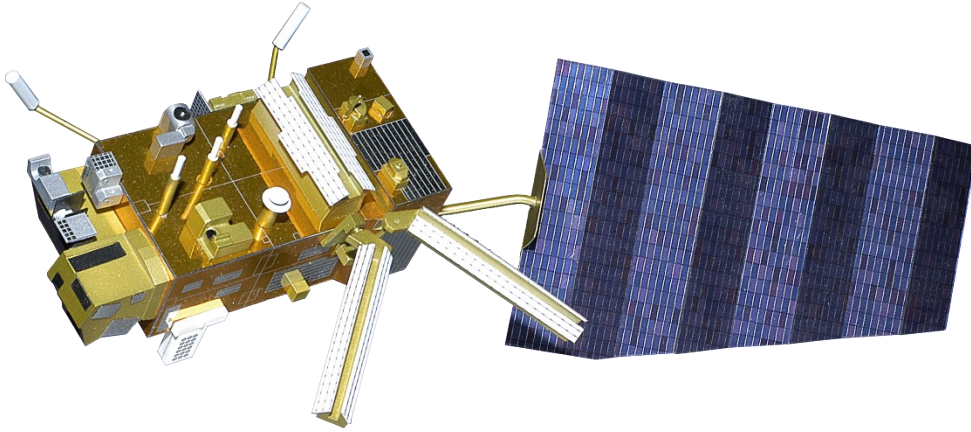
Monitoraggio incendi



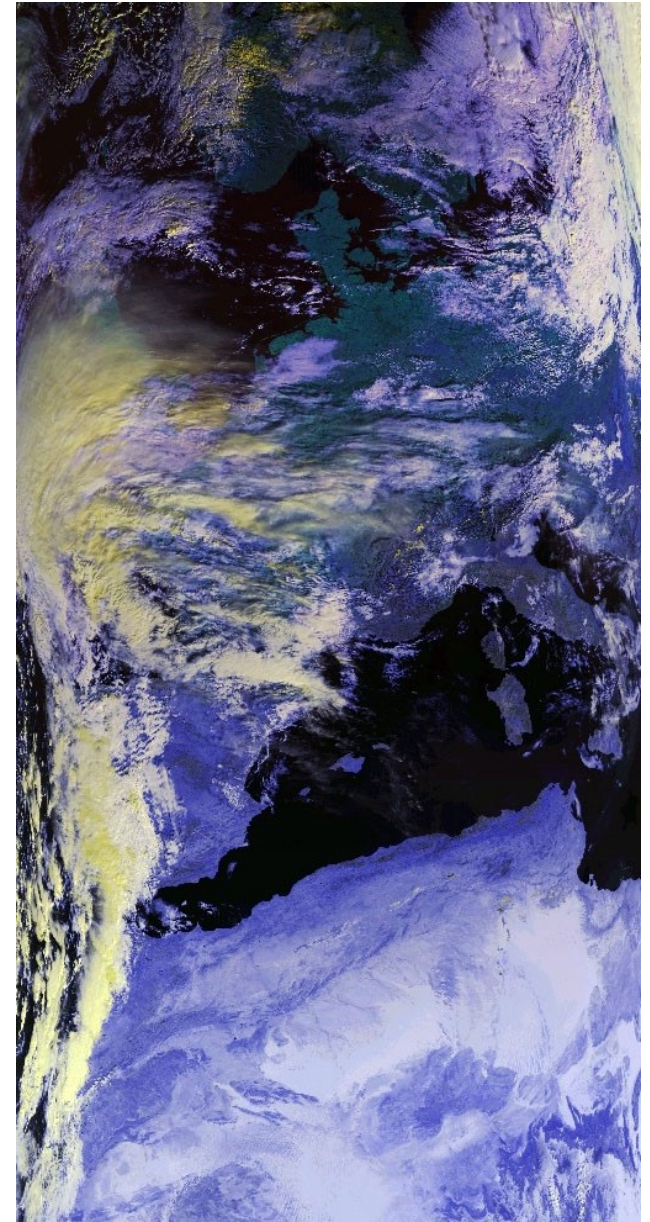
- **IR 3.9:** con questa banda è possibile vedere l'anomalia termica (in rosso) dovuta agli incendi

- **HRV:** nel visibile ad alta risoluzione si notano meglio invece i pennacchi di fumo causati dagli incendi

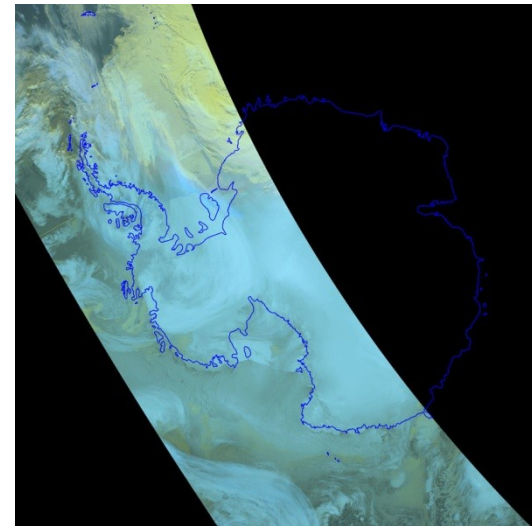
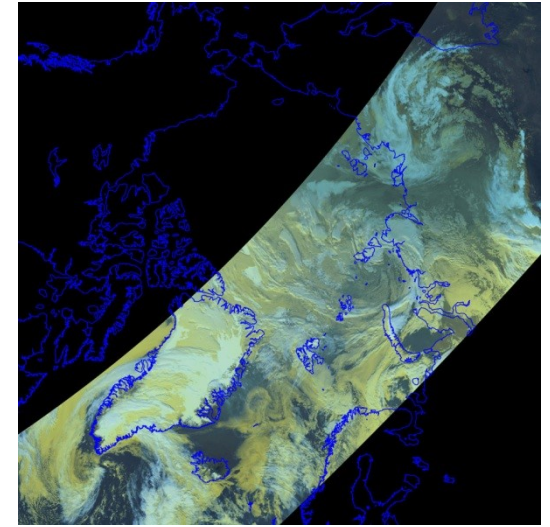
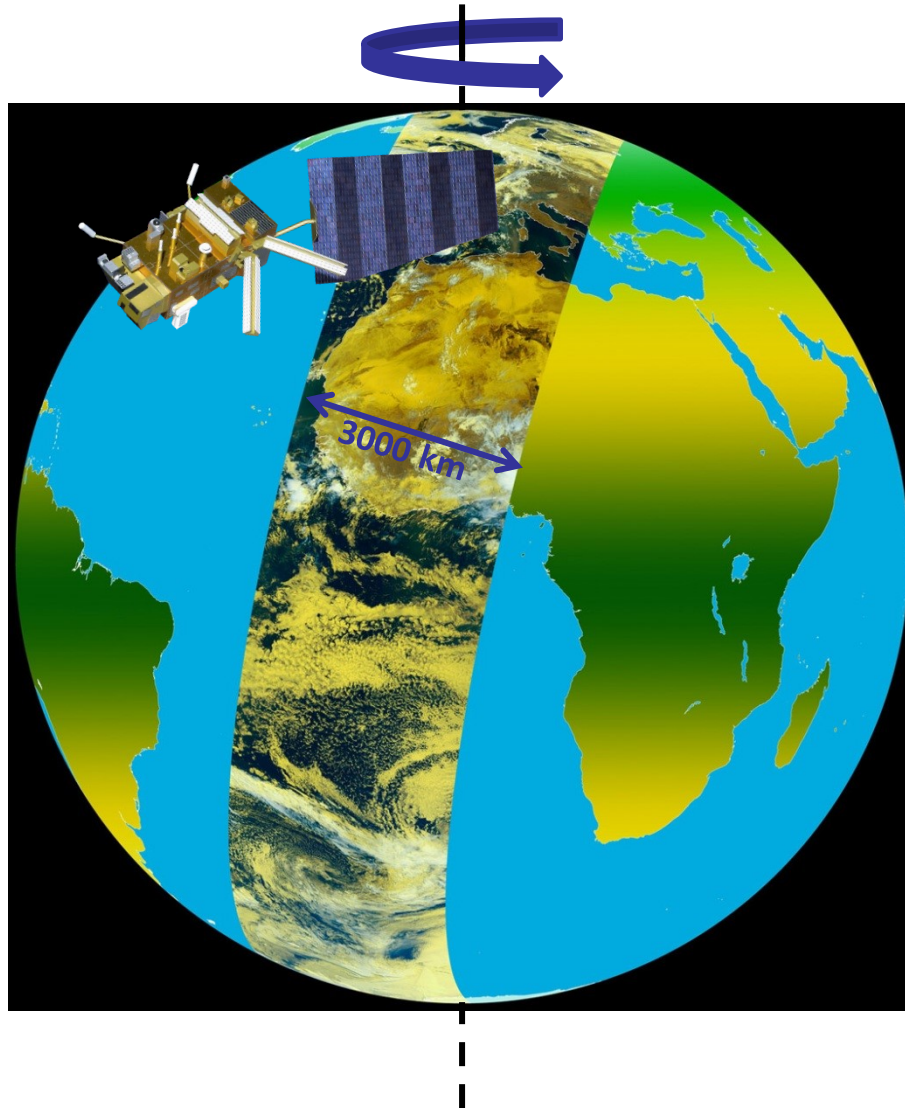
Satelliti polari: METOP



Size	5 m x 6,6 m x 17,6 m
Mass	4093 kg
Operational lifetime	5 years
Stabilization	3-axis stabilized
Altitude	840 km
Inclination	98.7°
Local solar time at the equator	09h30 am



METOP satellite

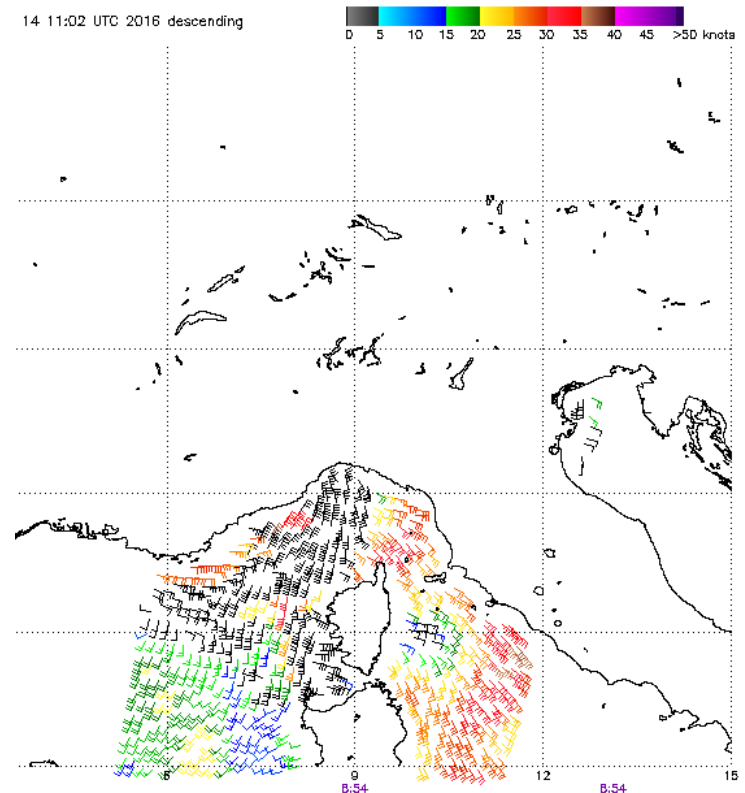
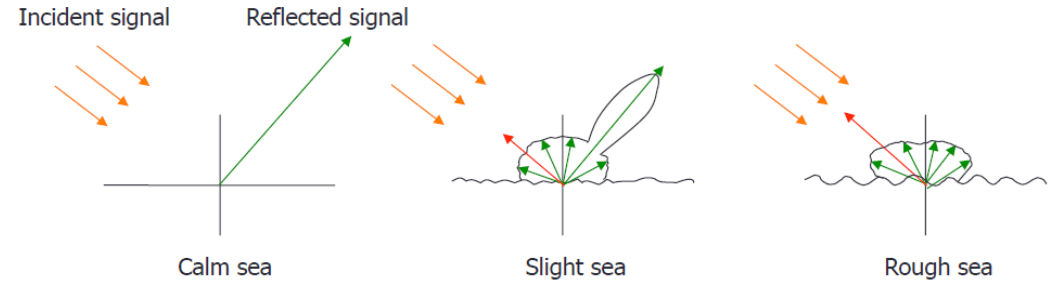
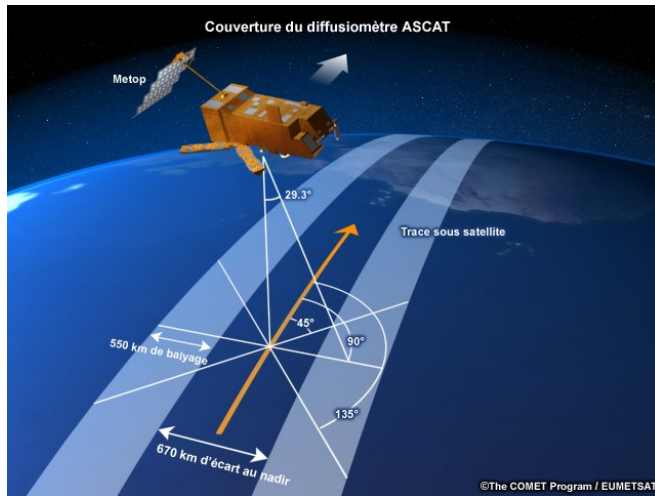


Misura su strisciate (*swath*) a ogni passaggio

METOP sensors

Instrument	Acronym	Characteristics	Main applications
Advanced SCATterometer	ASCAT	C-Band scatterometer	Ocean wind vector, sea ice, soil moisture
Advanced Very High Resolution Radiometer	AVHRR	Visible and infra-red imager	Clouds, sea/land surface temperature
Advanced Microwave Sounding Unit	AMSU-A1 et 2	Microwave sounder	Atmospheric vertical temperature profiles
Global Ozone Monitoring Experiment	GOME	Visible and ultra-violet spectrometer	Vertical ozone profiles
GNSS Receiver for Atmospheric Sounding	GRAS	GPS receiver	Temperature and humidity in upper atmosphere
GNSS Receiver for Atmospheric Sounding	HIRS	Infra-red sounder	Atmospheric vertical temperature and humidity profiles
IR Atmospheric Sounding Interferometer	IASI	Advanced infra-red sounder (interfer.)	Atmospheric vertical T/Hu profiles and composition
Microwave Humidity Sounder	MHS	Microwave radiometer	Atmospheric vertical humidity profiles, precipitation

ASCAT - Advanced SCATterometer



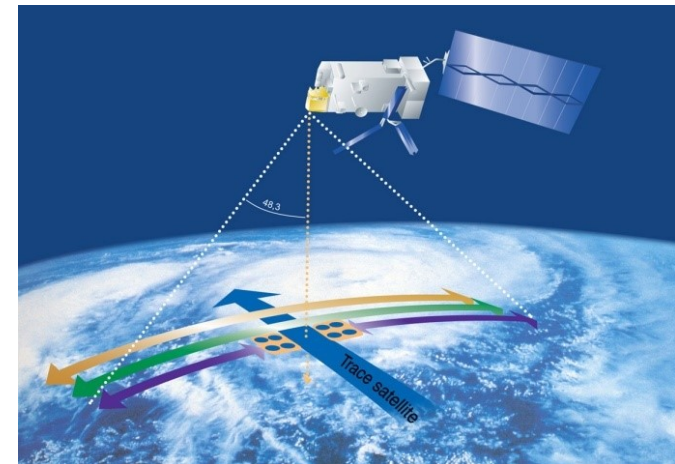
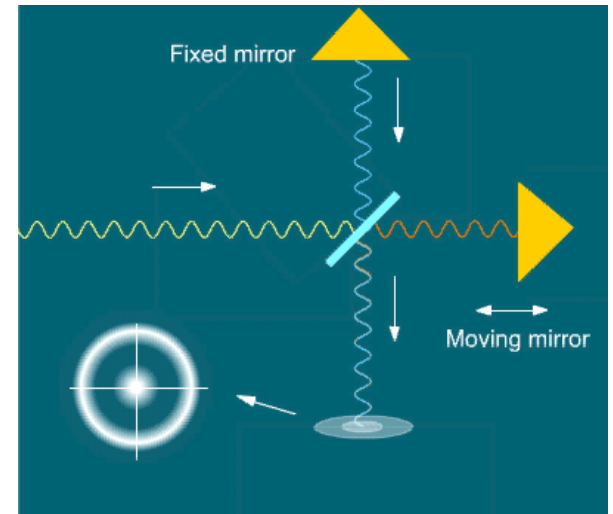
- ASCAT is a C band radar (5.255 GHz) to estimate wind (speed and direction) over the ocean, to retrieve soil moisture and to identify snow and ice
- ASCAT is composed of two sets of three antennas that cover two distinct areas located to the left (one set) and to the right (the other set) of the satellite track

IASI

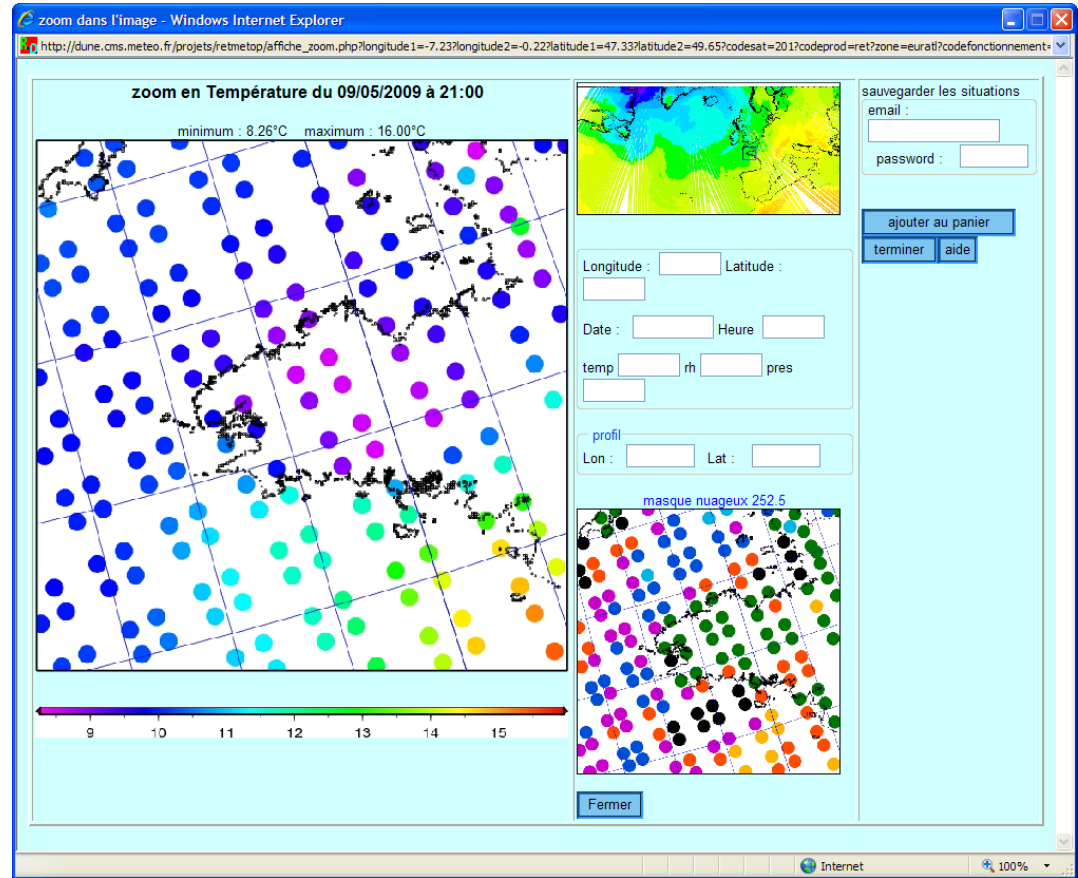
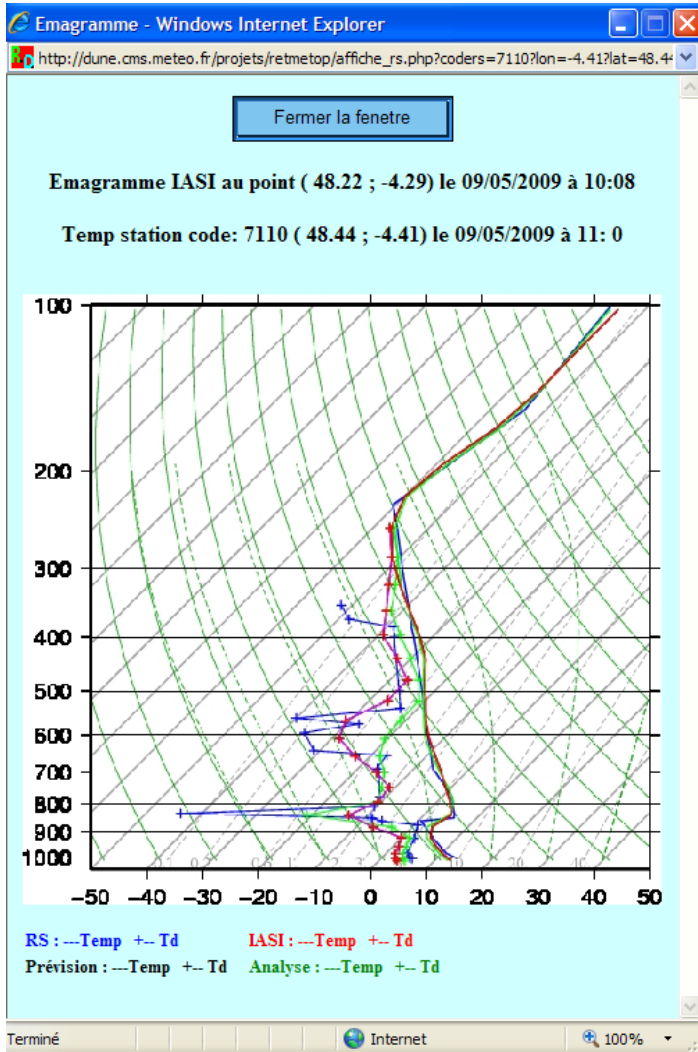
- IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer), a result of a collaboration between CNES and EUMETSAT, is a Michelson interferometer, on METOP satellite, measuring the spectral distribution of the atmospheric radiation
- High spectral resolution : 8461 channels from 3.6 μm to 15.5 μm
- Horizontal resolution : 12 km

Scientific objectives:

- Temperature profile : 1° C / 1 km (lower troposphere)
- Humidity profile : 10% / 1 km (lower troposphere)
- Trace gases : O₃, CH₄, CO
- 2200 km swath, synchronised scanning with AMSU-A

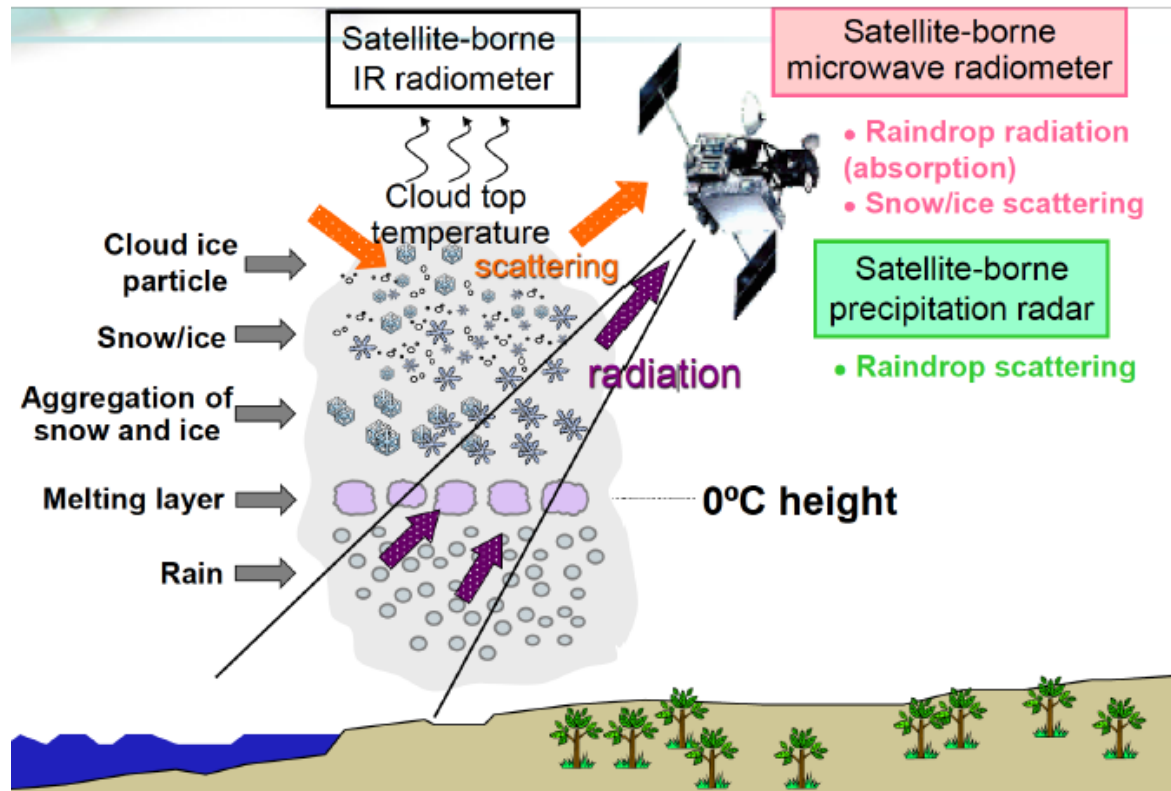


IASI



Sensori a microonde (radiometri passivi e radar)

- Grazie alla maggior lunghezza d'onda (1 cm – 1 m) rispetto all'infrarosso, la radiazione a microonde può attraversare le nubi e in parte anche il suolo
- Possibilità di misurare in tutte le condizioni meteo e ottenere informazioni su precipitazione e proprietà della superficie terrestre e dell'oceano (vegetazione, umidità del suolo, temperatura e salinità del mare)
- Per la stima della precipitazione i canali più usati sono 10, 19, 37, 85 GHz. Frequenza maggiore equivale a minor lunghezza d'onda e minor penetrazione all'interno delle nubi -> sensibilità a quote diverse
- Sui satelliti polari stima della precipitazione anche con strumenti attivi (radar)



Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)



TRMM altitude was 350-km at launch, boosted to 402-km in 2001 to extend lifetime

Lower altitude= finer spatial resolution

Flight Direction



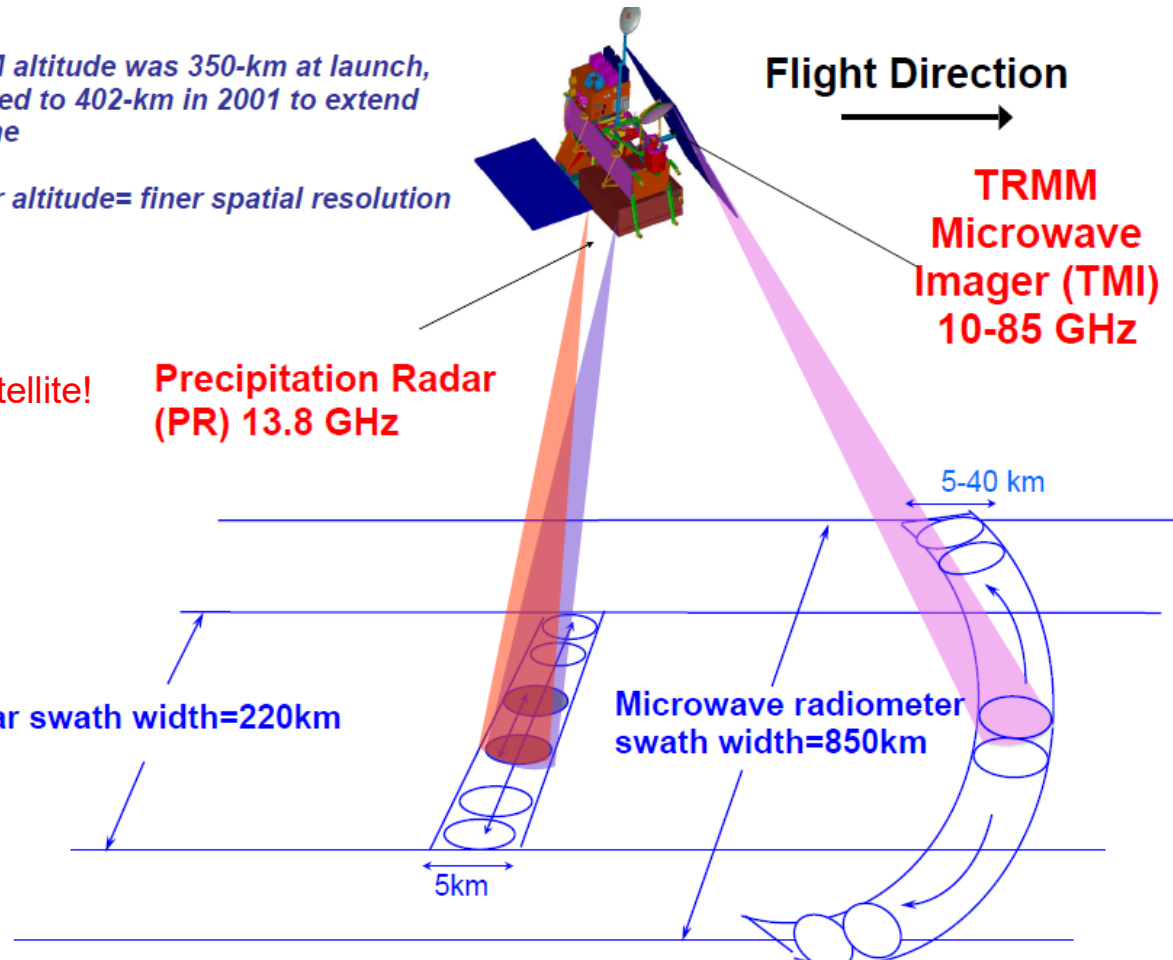
**TRMM
Microwave
Imager (TMI)
10-85 GHz**

Primo radar montato su satellite!

**Precipitation Radar
(PR) 13.8 GHz**

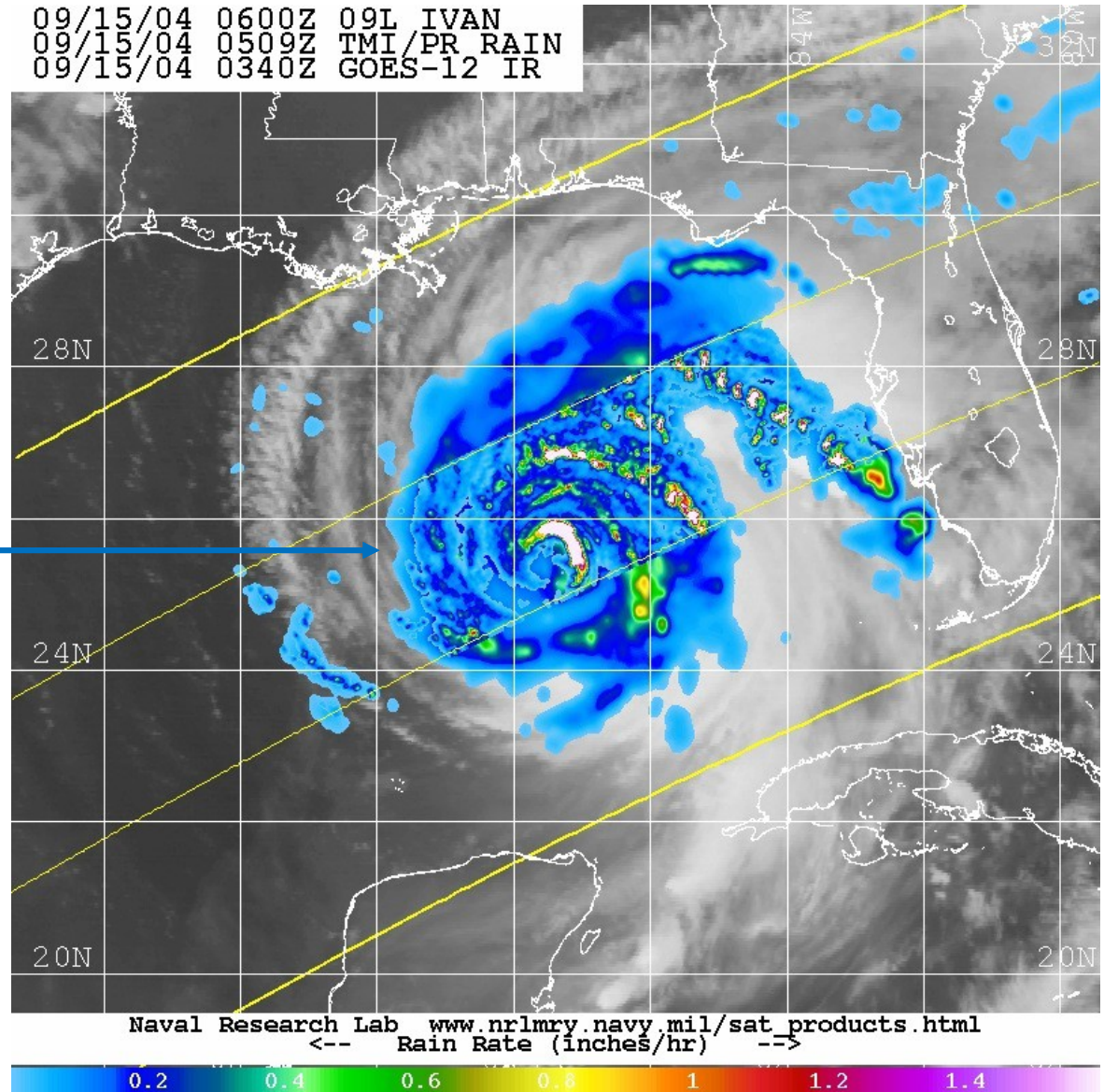
Radar swath width=220km

Microwave radiometer
swath width=850km



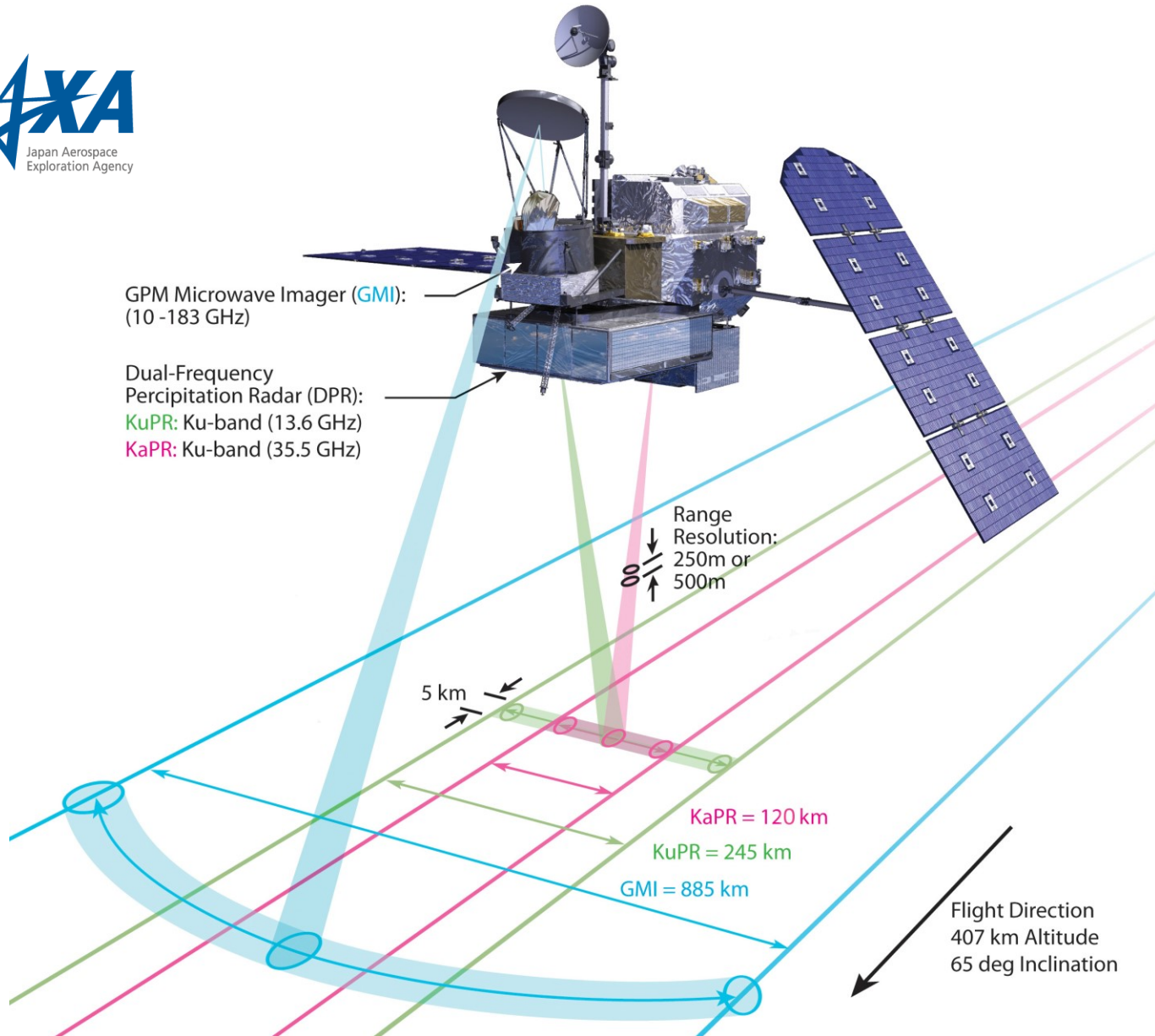
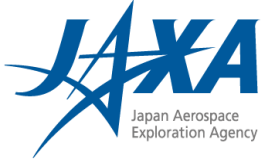
Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

09/15/04 0600Z 09L IVAN
09/15/04 0509Z TMI/PR RAIN
09/15/04 0340Z GOES-12 IR



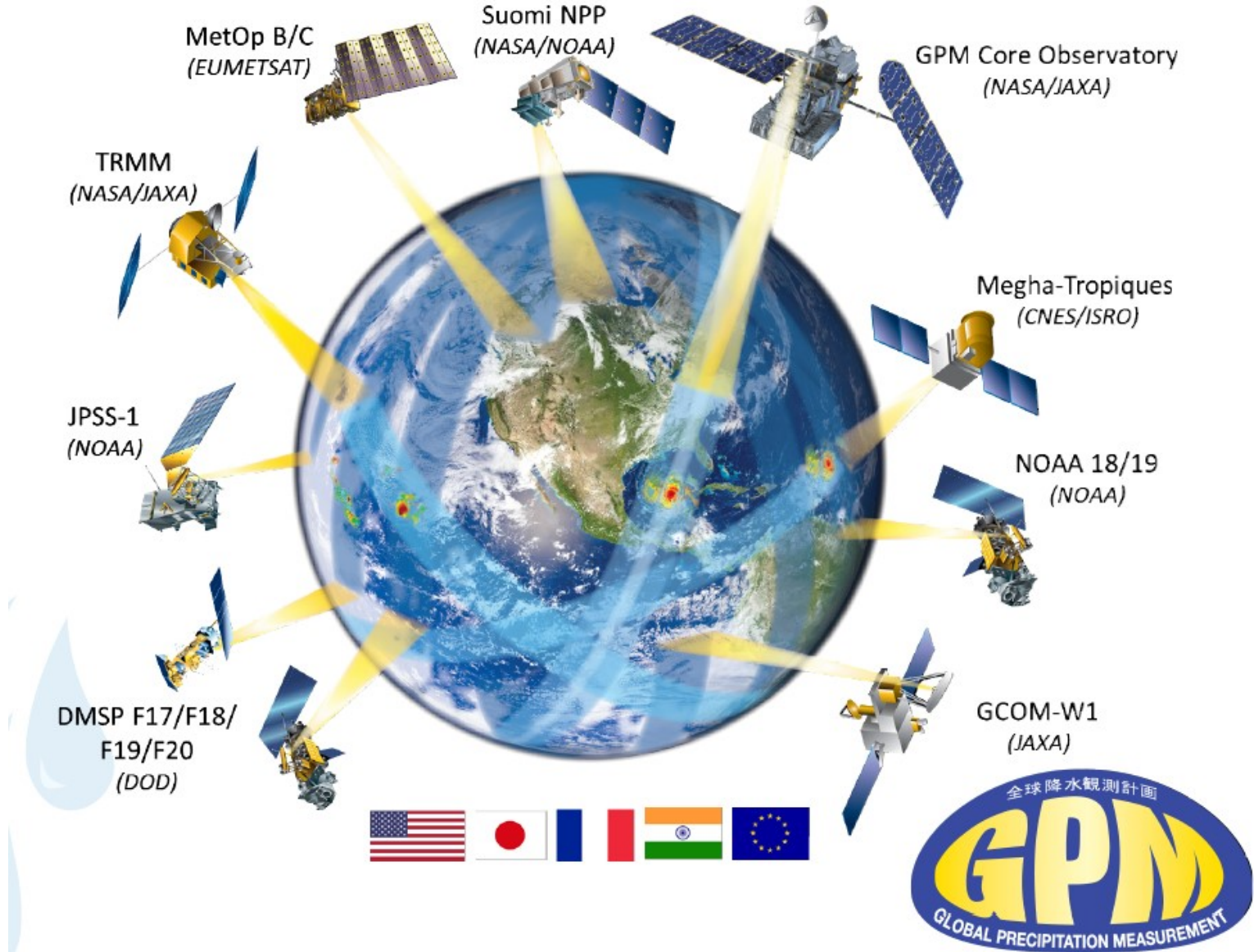
Nella fascia centrale stima della precipitazione da radar PR, risoluzione più alta

The Global Precipitation Measurement (GPM) mission

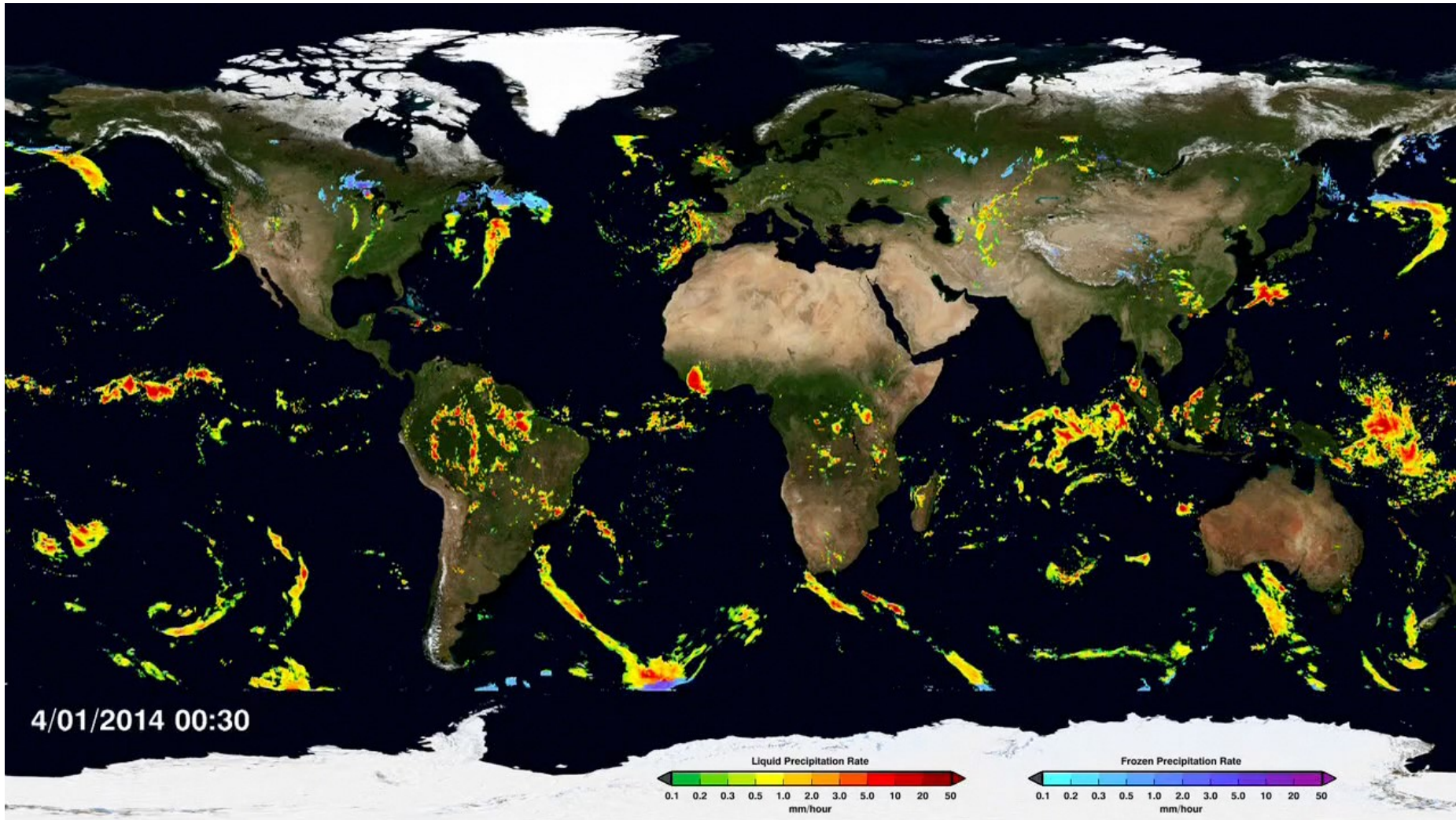


The Global Precipitation Measurement (GPM) mission

GPM Constellation Status

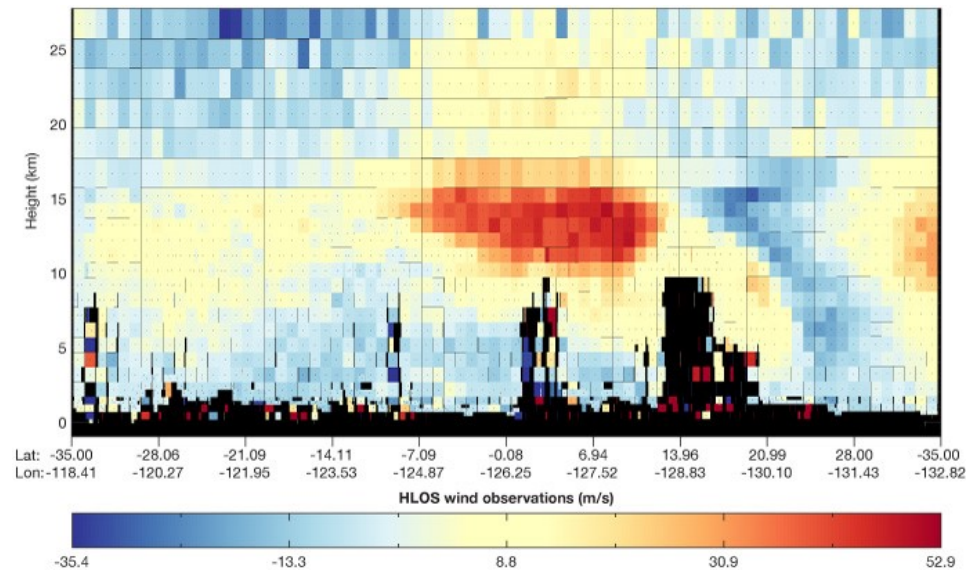


The Global Precipitation Measurement (GPM) mission



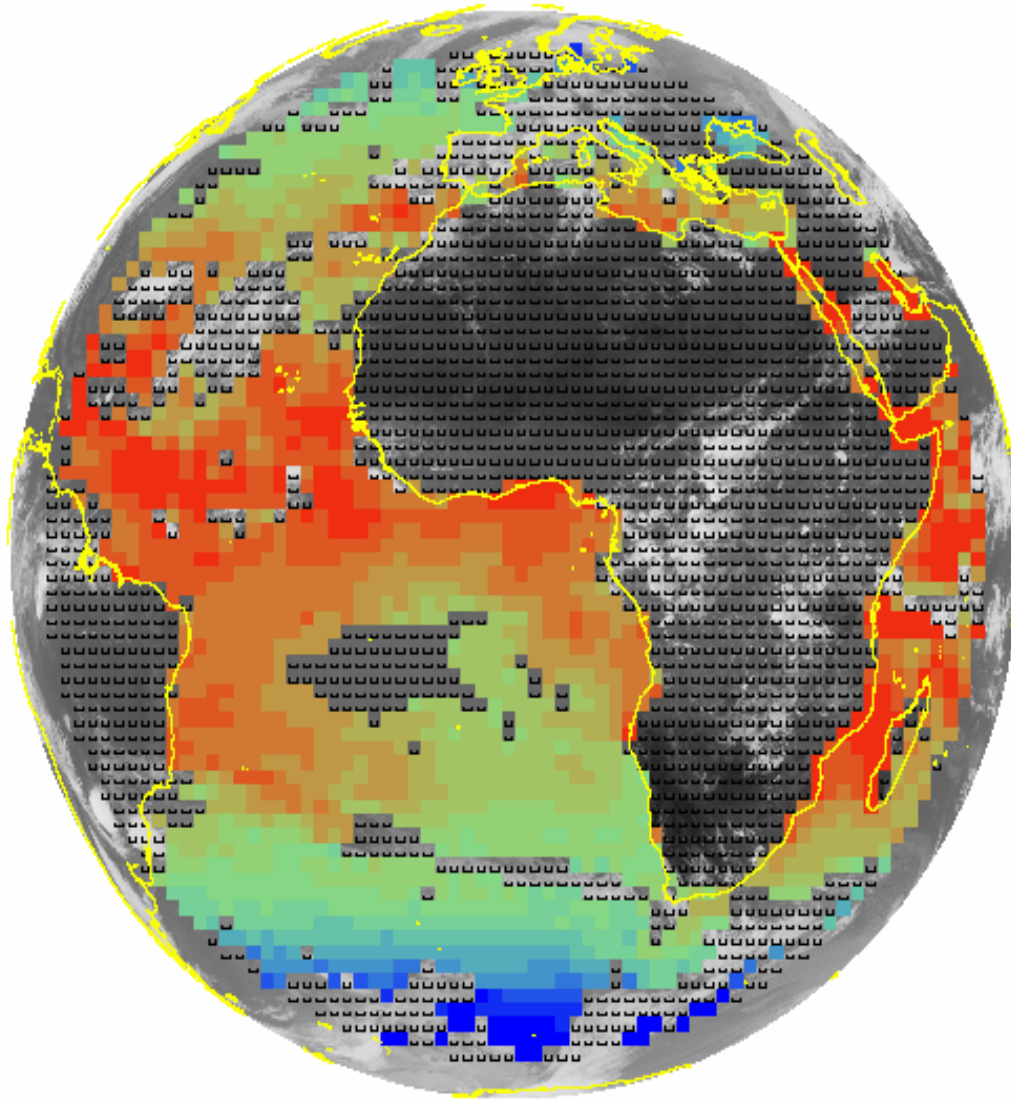
Combinando i dati dei diversi satelliti si ottengono stime di precipitazione su scala globale: fondamentale per il monitoraggio delle zone remote non coperte da strumenti a terra

Aeolus – ESA (2018)



Primo satellite in grado di ottenere profili verticali del vento a scala globale con uso di tecnologia LIDAR

Sea Surface Temperature (SST)



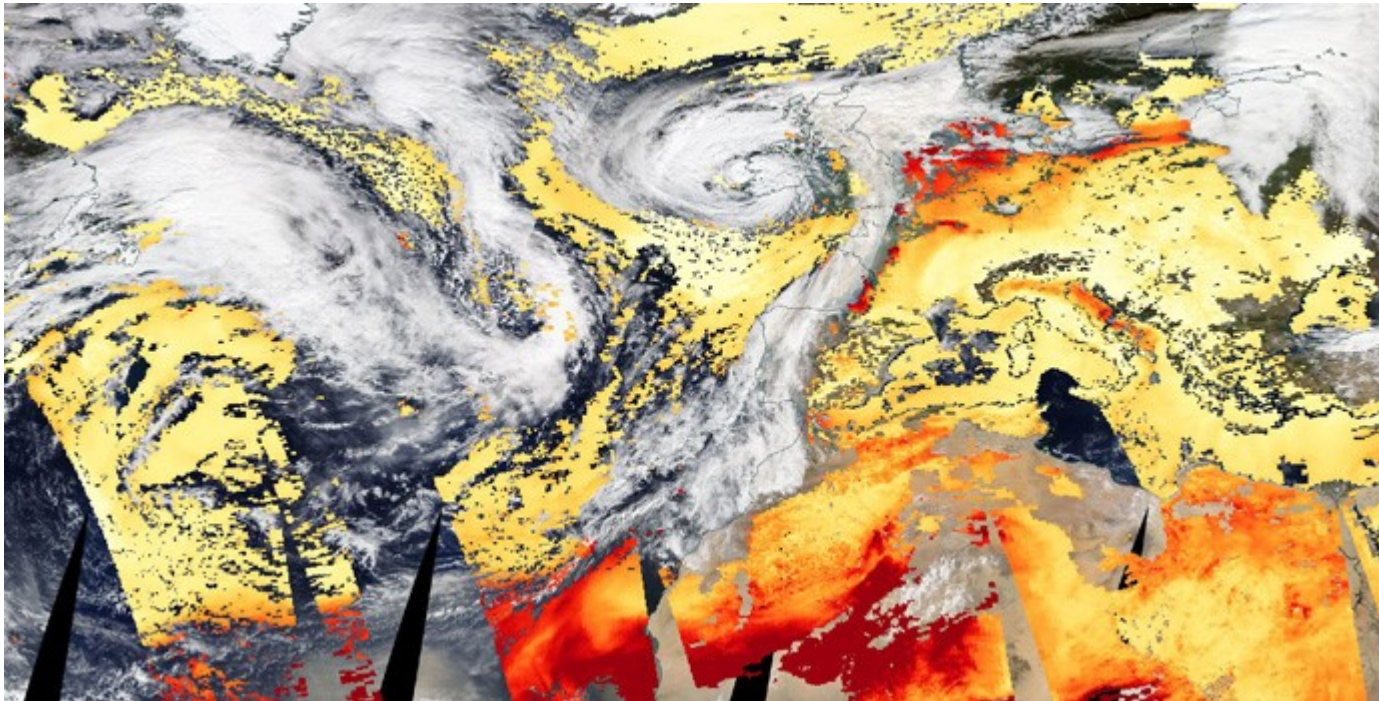
Numerosi prodotti a diverse risoluzioni per la stima della temperatura superficiale del mare

Combinazione di dati da diversi satelliti (radiometri IR o a microonde) per ottenere una copertura globale

Informazione su SST fondamentale per studi climatologici e per la modellistica meteo-oceanografica

Misure di aerosol da satellite

- Dalla misura della radiazione al top dell'atmosfera è possibile ricavare informazioni sul contenuto colonnare di aerosol (Aerosol Optical Depth)
- La misura è affidabile solo in assenza di nubi
- Uno strumento di questo tipo è il Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) montato sul satellite della NASA Terra

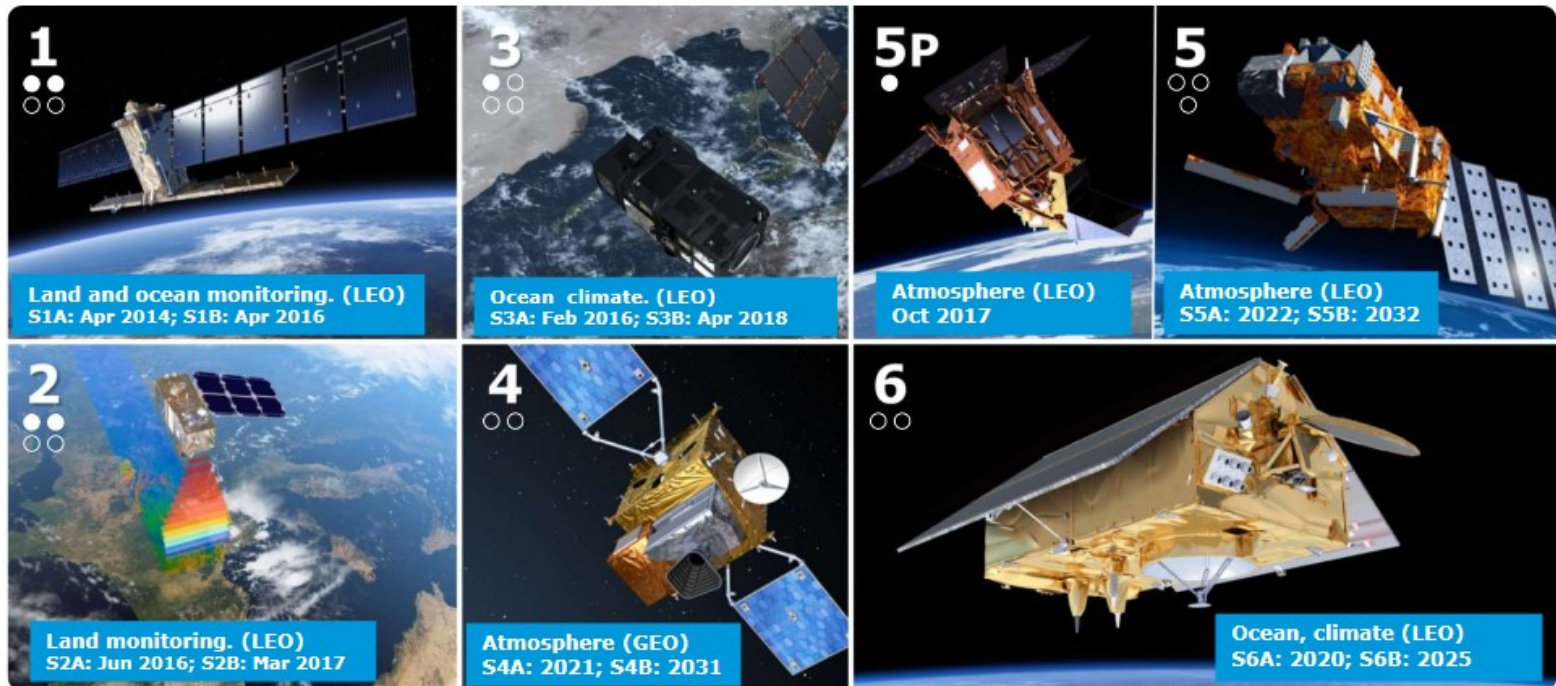


Il programma Copernicus: le missioni Sentinel

Programma per l'osservazione satellitare della Terra coordinato da Unione Europea ed ESA (oltre 4 miliardi di euro di budget per il periodo 2014-2020)

Missioni Sentinel 1-6 per monitorare atmosfera, terra, oceano, inquinanti

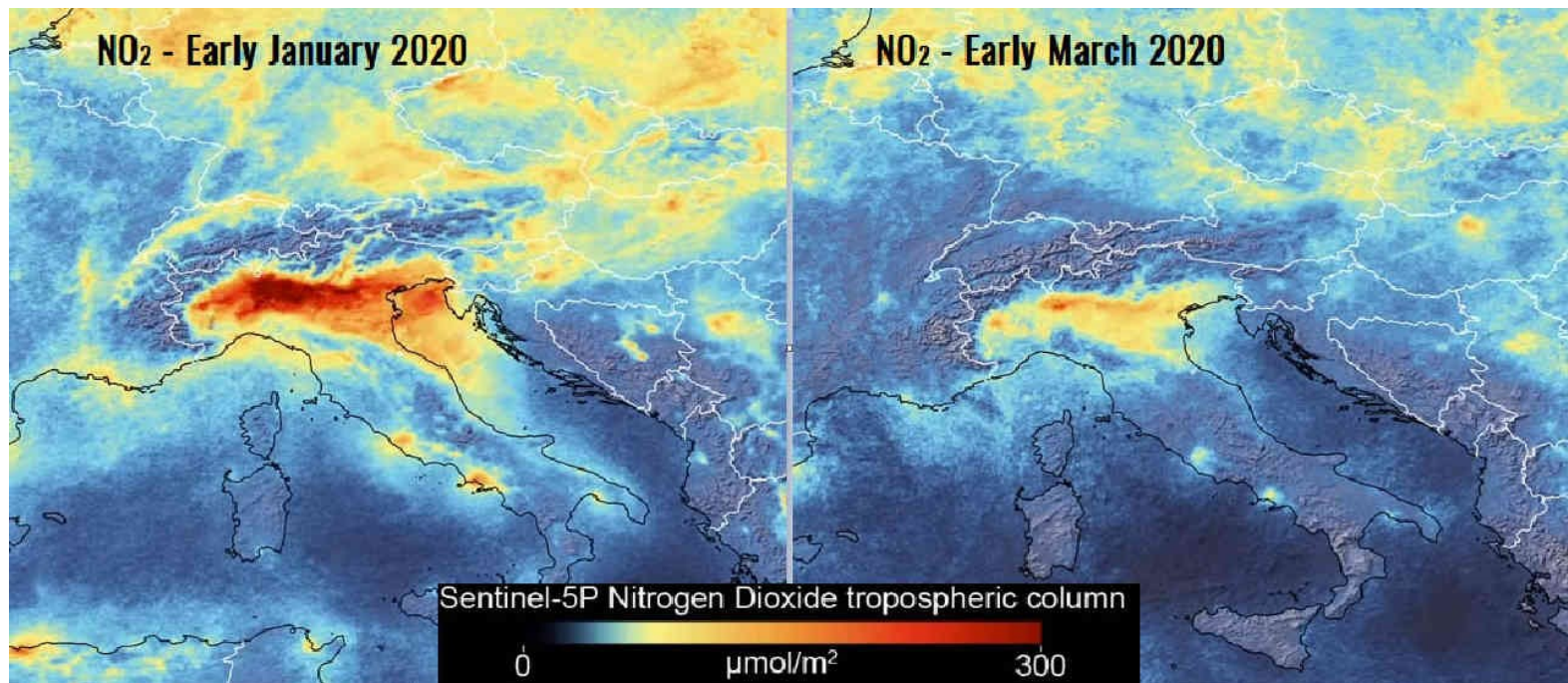
Copernicus – World EO Leadership



Sentinel 5-P (Precursor)

Satellite polare lanciato nel 2017 per monitoraggio giornaliero di O_3 , NO_2 , SO_2 , CO , CH_4 e $HCHO$ (formaldeide) grazie all'innovativo TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI)

Misure ad alta risoluzione (3.5 x 7 km) in VIS, UV, NIR, SWIR su strisciate di 2600 km



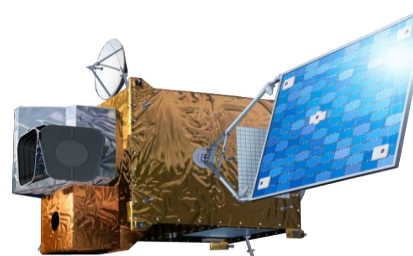
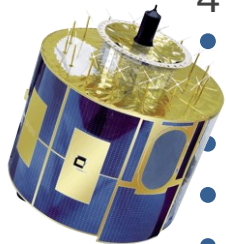
Riduzione di NO_2 in Pianura Padana per l'emergenza Coronavirus

Future European satellites: 2020 - 2040

Meteosat second generation

4 satellites (2002 - 2022) :

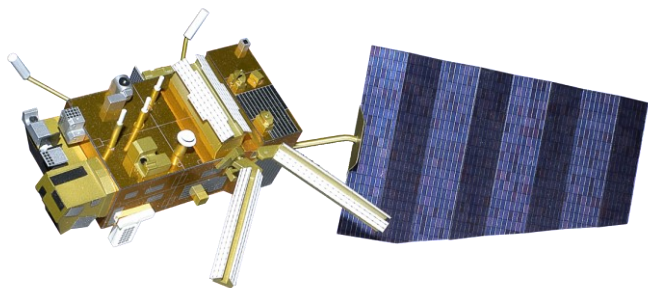
- Meteosat-8 (28th august 2002) to 41,5° E for the IODC mission ;
- Meteosat-9 (21st December 2005) ;
- Meteosat-10 (5th July 2012) ;
- Meteosat-11 (15th July 2015).



Meteosat third generation

6 satellites (2020 - 2039):

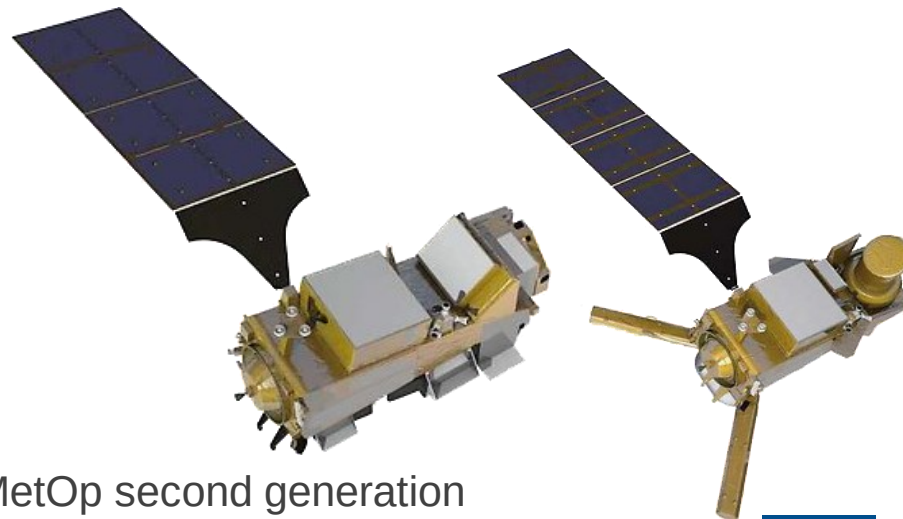
- 4 MTG-I;
- 2 MTG-S.



MetOp

3 satellites (2006 – 2021):

- MetOp-A (19th October 2006) ;
- MetOp-B (17th September 2012) ;
- MetOp-C (October 2018).



MetOp second generation

6 satellites (2021 - 2043):

- 3 Metop-SG-A ;
- 3 Metop-SG-B.

Meteosat third generation

Twin Satellite Concept, based on 3-axis platforms

- Imaging Satellites (MTG-I)
(MTG-I1/I2/I3/I4: 20 years of operational service)
- Sounding Satellites (MTG-S)
(MTG-S1/S2: 15 years of operational service)



The payload complement of the MTG-I satellite consists of:

- The Flexible Combined Imager (FCI)
- Full Disc High Spectral resolution Imagery (FDHSI)
- High Spatial Resolution Fast Imagery (HRFI)
- The Lightning Imager (LI)
- The Data Collection System (DCS) and Search and Rescue (GEOSAR)

The payload complement of the MTG-S satellite consists of:

- The Infrared Sounder (IRS)
- The Ultra-violet, Visible and Near Infrared Sounder (UVN), provided as GMES Sentinel-4 instruments

Meteosat third generation

Full Disc High Spectral resolution Imagery (FDHSI):

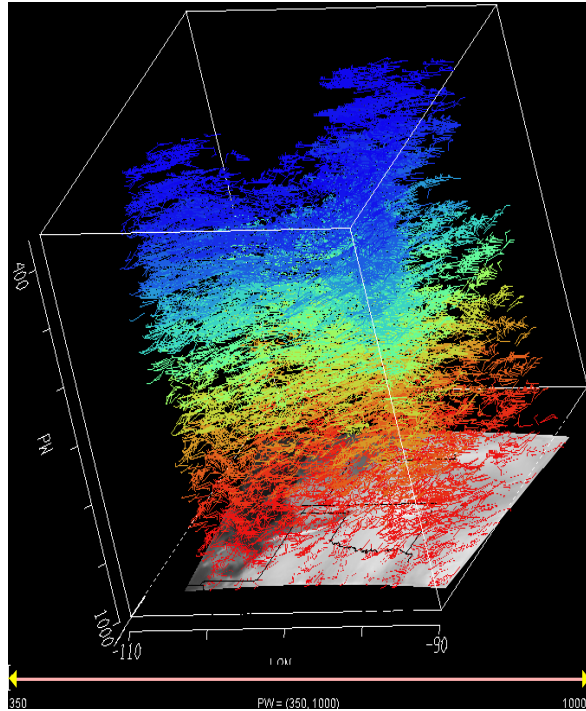
- Full disc
- Every 10 minutes
- 1 to 2 km resolution in 16 channels

High Spatial Resolution Fast Imagery (HRFI):

- 1/4 of the full disc
- every 2 min 30 s
- 500 m to 1 km resolution for 4 channels

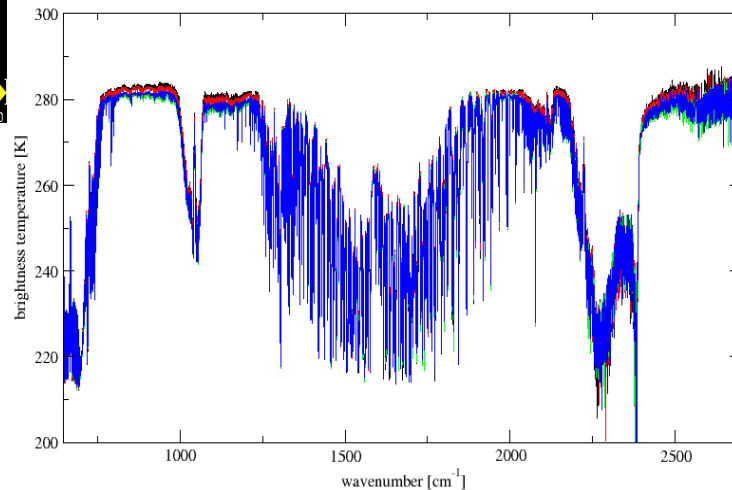
Channels	16 channels FDHSI / 4 channels HRFI
VIS 0.4 μm	1 km
VIS 0.5 μm	1 km
VIS 0.6 μm	1 km / 500 metres
VIS 0.8 μm	1 km
VIS 0.9 μm	1 km
NIR 1.3 μm	1 km
NIR 1.6 μm	1 km
NIR 2.2 μm	1 km / 500 metres
IR 3.8 μm	2 km / 1 km
WV 6.3 μm	2 km
WV 7.3 μm	2 km
IR 8.7 μm	2 km
IR 9.7 μm	2 km
IR 10.5 μm	2 km / 1 km
IR 12.3 μm	2 km
IR 13.3 μm	2 km

Meteosat third generation - IRS



MTG-IRS mission will deliver unprecedented information on horizontal and vertical gradients of moisture, wind and temperature between measurements of individual radiosondes and hyperspectral soundings from the polar orbiting satellites. InfraRed Sounding (IRS), global scales (Full Disk) over a BRC = 60 min at spatial resolution of 4 km, providing hyperspectral soundings at 0.625 cm^{-1} sampling in two bands:

- Long-Wave-IR (LWIR: $700 - 1210 \text{ cm}^{-1} \sim 820$ spectral samples)
- Mid-Wave-IR (MWIR: $1600 - 2175 \text{ cm}^{-1} \sim 920$ spectral samples)



Meteosat third generation - IRS

- The IRS (30 min repeat cycle over Europe) will fill large spatial and temporal voids in the 12-hour time standard radiosonde observations and will allow time and space interpolation of moisture/temperature observations taken from the polar orbit.
- The IRS derived information on low tropospheric moisture and its changes in time is expected to lead to a better depiction of the hydrological cycle in models, potentially providing better precipitation forecast.
- The IRS will provide information on vertically resolved atmospheric motion vectors with improved height assignment, which in particular is beneficial for the tropical areas having only a weak coupling between the dynamic and thermodynamic atmospheric fields.
- The IRS will provide information to identify pre-convective situations supporting NWC applications to forecast convective initiation.
- IRS will support forecasting pollution and monitoring of atmospheric minor constituents through its capability to provide estimates of diurnal variations of tropospheric contributions of atmospheric trace gases as O₃ and CO.

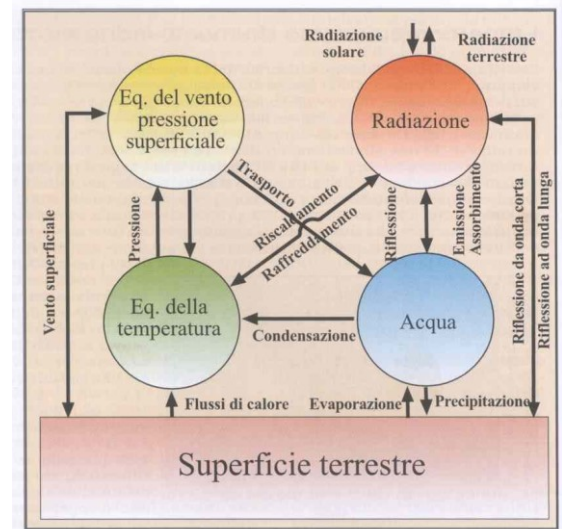
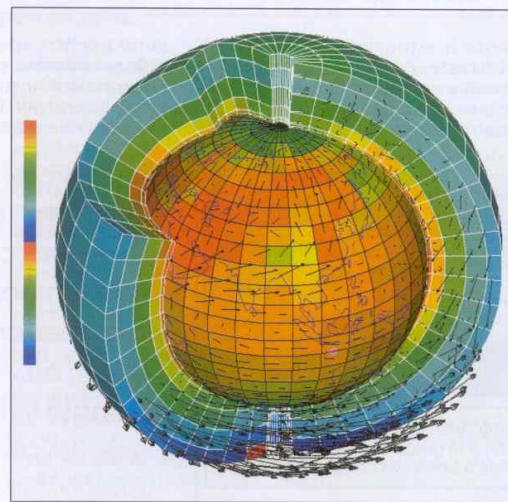
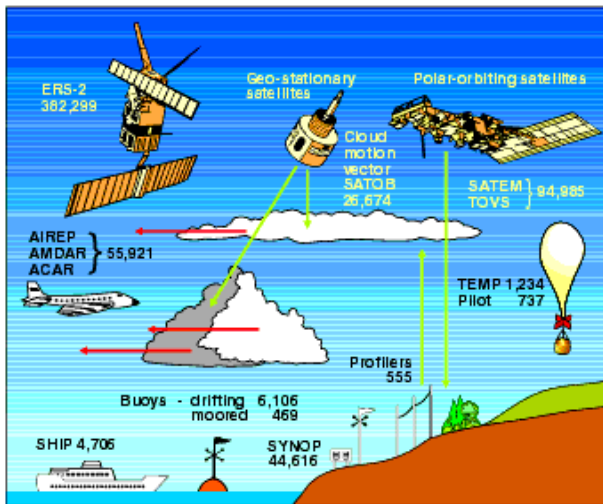
Modelli e strumenti per la previsione del tempo

Condizioni
Iniziali

Integrazione delle
equazioni

Previsione

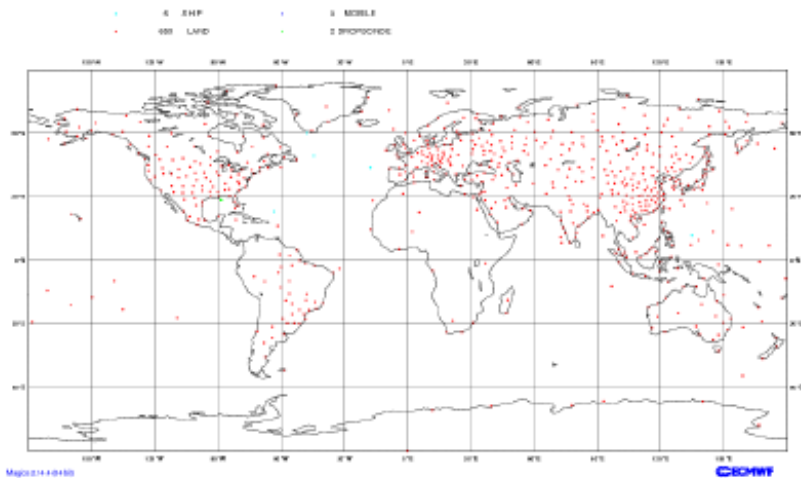
... cosa occorre:



L'importanza dei dati da satellite

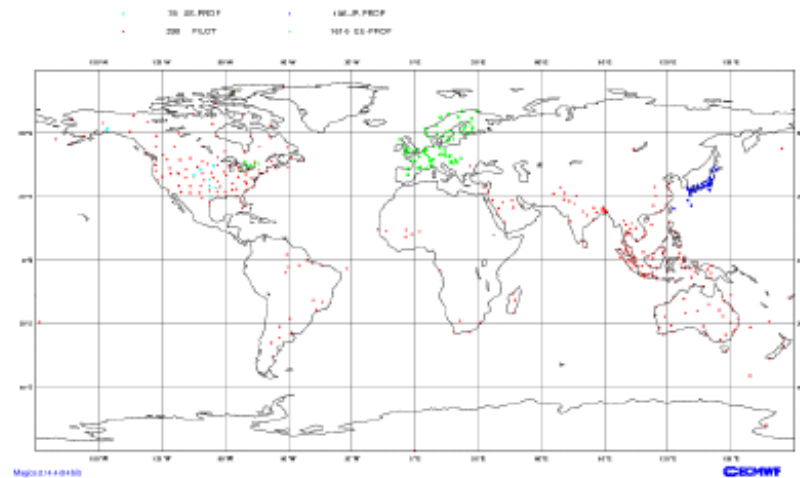
Radiosonde coverage

Total number of obs = 657

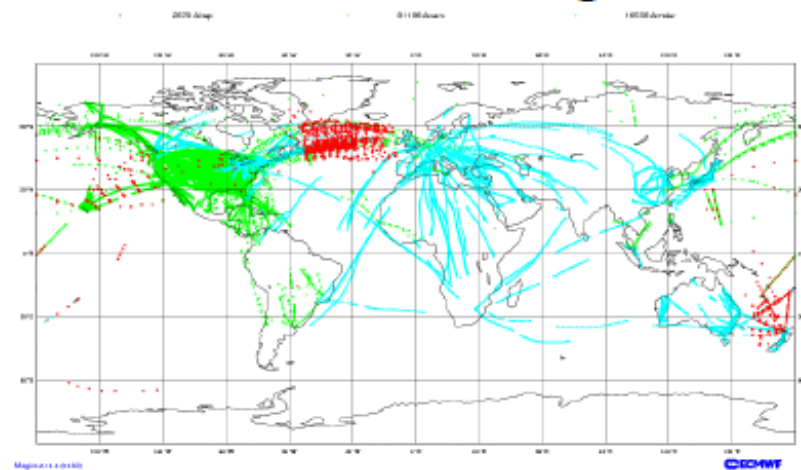


Pilot-Profiler coverage

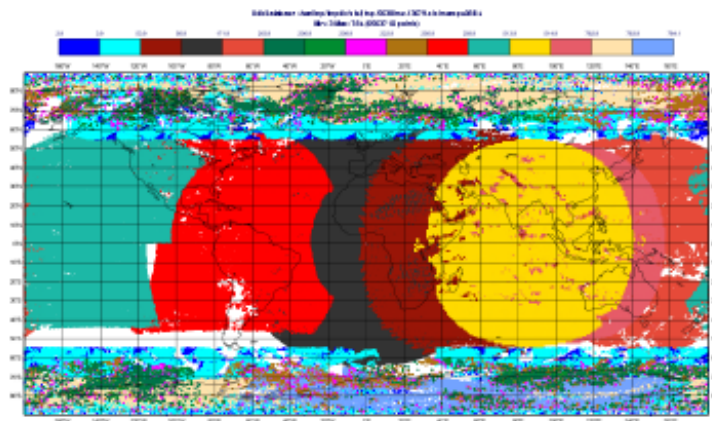
Total number of obs = 2188



Aircraft coverage



Satellite wind coverage



Link per approfondimenti

Manual of satellite meteorology (ZAMG):

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>

Guida all'interpretazione dei prodotti MSG:

http://eumetrain.org/rgb_quick_guides/index.html

UCAR COMET lectures:

<https://www.meted.ucar.edu>