



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Corso di RADIOPROPAGAZIONE E RADAR METEOROLOGIA

Docenti:

Frank S. Marzano (3 CFU) & Marianna Biscarini (3 CFU)

Posta-e: frank.marzano@uniroma1.it, marianna.biscarini@uniroma1.it

<https://cispio.diet.uniroma1.it/marzano/RadioPropagationRadMet.html>

Tel. 06.44585847, 320.4357254

Ricevimento: Mercoledì h. 15:00

Testi e modalità esame

Dispense delle lezioni e materiale didattico disponibili sul sito:

<https://cispio.diet.uniroma1.it/marzano/RadioPropagationRadMet.html>

password: propem

- Per approfondimenti (testi disponibili in biblioteca DIET):
 - A. Paraboni, M. D'Amico: *Radiopropagazione*, Mc Graw Hill, Milano, 2002
 - G. Conciauro, L. Perregrini: *Fondamenti di onde elettromagnetiche*, Mc Graw Hill, 2003
 - F.S. Marzano, N. Pierdicca: *Fondamenti di Antenne*, Carocci, 2011
 - R. E. Collin: *Antennas and Radiowave Propagation*, Mc Graw Hill, Int. Ed., 1985
 - Bringi V. N. and V. Chandrasekar, *Polarimetric Doppler Weather Radar: principles and applications*, Cambridge University Press, 2001
- Modalità d'esame:
 - **due domande di teoria** da svolgere in forma scritta e/o orale
 - tesina in Matlab su collegamento spaziale o radar meteorologia

Programma del corso

1. Introduzione [2 h, FSM]
2. Richiami di elettromagnetismo [1 h, FSM]
3. Richiami su teoria della radiazione e.m. [1 h, FSM]
4. Richiami su antenne [1 h, FSM]
5. Rumore e teoria del trasferimento radiativo [5 h, FSM]
6. Metodi perturbativi e diffusione di Born [5 h, FSM]
7. Ottica geometrica [5 h, FSM]
8. Propagazione troposferica in aria chiara [5 h, MB]
9. Propagazione troposferica in presenza di idrometeore [5 h, MB]
10. Radar meteorologia: fondamenti e applicazioni [10 h, FSM]
11. Propagazione ionosferica [5 h, MB]
12. Effetti del terreno sulla propagazione [2 h, MB]
13. Propagazione in area urbana [2 h, MB]
14. Teoria della diffrazione e propagazione in presenza di ostacoli [5 h, FSM]
15. Applicazioni: sistemi spaziali di telecomunicazione e telerilevamento [5 h]
16. Applicazioni: collegamenti ottici in spazio libero [2 h]
17. Applicazioni: dimensionamento collegamento AlphaSat in banda Ka e Q [3 h]



Introduzione alla radiopropagazione

- Introduzione
- Propagazione libera e guidata
- Spettro elettromagnetico (e.m.)
- Bande dello spettro e.m. e meccanismi di propagazione
 - VLF, LF, MF, HF, VHF, SHF, EHF

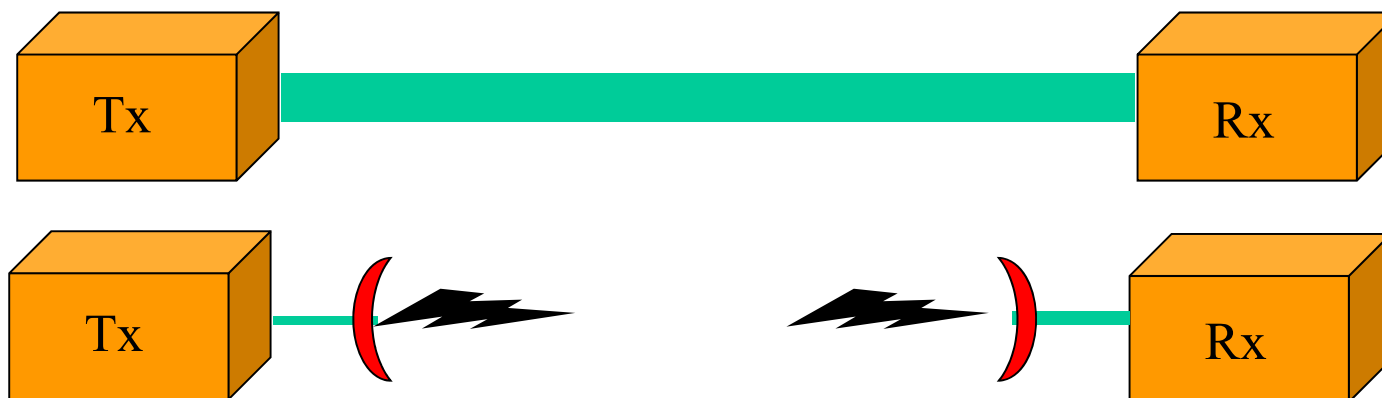
Introduzione (1/2)

- La Propagazione descrive le modalità con cui le onde e.m. si propagano in vari tipi di mezzi, naturali o artificiali.
 - Si parla di *propagazione guidata* quando l'onda viaggia lungo strutture che sono guidanti per l'onda stessa.
- Nel corso faremo invece riferimento alla *propagazione libera*, in cui c'è una sorgente (tipicamente un'antenna) che irradia nello spazio ed un'onda e.m. che viaggia in tale spazio.
- Per utilizzare in pratica la trasmissione di energia e.m. a grande distanza è necessario tener conto che mezzi naturali (terreno, mare, atmosfera) e artificiali (edifici, strutture) interagiscono con la radiazione e.m..
- Obiettivo del corso: comprendere i principali fenomeni d'interazione tra radiazione e.m. e l'ambiente al fine di acquisire le conoscenze fondamentali per la *progettazione e l'utilizzazione di sistemi di telecomunicazione e di telerilevamento*.

Introduzione (2/2)

- Lo studio dei problemi di propagazione ha *finalità ingegneristiche* dato che tali problemi sono connessi alla **progettazione dei sistemi utilizzando le onde e.m.**, tipicamente per telecomunicazioni, radar, telerilevamento.
- La curvatura terrestre, la presenza di rilievi ed edifici, la composizione atmosferica, gli eventi precipitativi, la presenza del plasma ionosferico nell'alta atmosfera, sono elementi di cui il progettista deve tener conto per la messa a punto del sistema. Egli deve decidere, ad esempio:
 - collocazione e caratteristiche delle antenne;
 - frequenza di utilizzo;
 - potenza da trasmettere;
 - uso eventuale di tecniche atte a mitigare i problemi:
- *Rispetto alla propagazione guidata, la propagazione libera deve quindi tener conto dell'ambiente in cui si opera.*

Propagazione libera e guidata



Quando conviene utilizzare la propagazione libera e quando la guidata ?

In alcuni casi (p.es. telefoni cellulari) la risposta è banale e la scelta obbligata.

Un parametro di giudizio (non l'unico) è rappresentato dall'attenuazione incontrata usando i 2 tipi di propagazione.

I due tipi di attenuazione sono molto differenti.

Attenuazione in guida ed in spazio libero (1/2)

- Per **propagazione guidata** l'attenuazione è dovuta alle perdite di tipo ohmico nel sistema di trasmissione. La potenza decresce esponenzialmente con la distanza R : $W \propto \exp(-\alpha R)$

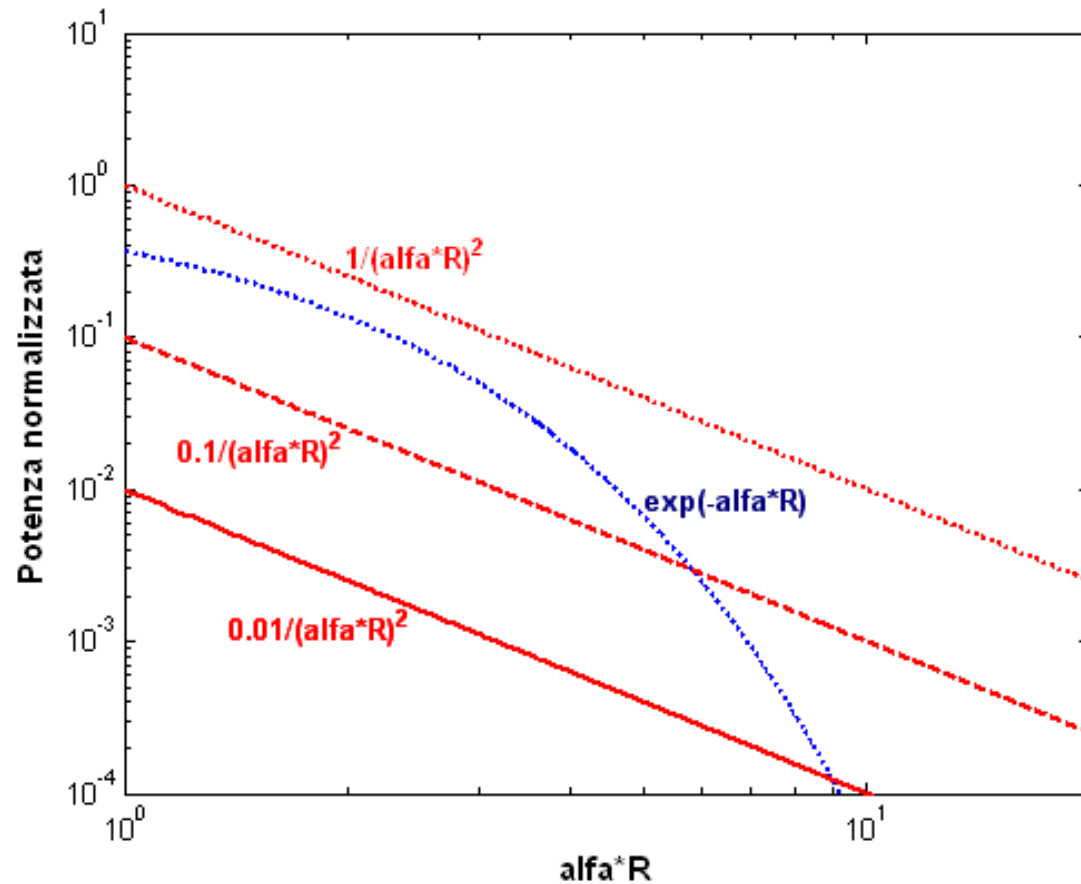
Il coefficiente α è tanto più piccolo quanto “migliore” è il sistema trasmissivo.

- Per **propagazione libera** l'attenuazione non è esponenziale (per frequenze fino a circa 10 GHz), ma geometrica: la potenza decade con il quadrato della distanza dall'antenna: $W \propto C/R^2$

C è tanto più grande quanto più l'antenna trasmittente concentra la radiazione su spazi limitati (è “direttiva”).

- **Altri parametri** di giudizio sono:
 - il **costo** (p.es. in fibra ottica, utilizzata nella propagazione guidata ad alte frequenze, l'attenuazione è molto bassa, ma la fibra ha un costo relativamente elevato);
 - la **banda** (“quantità di informazione trasmissibile per unità di tempo”) **disponibile** ovvero la non dispersività. Un canale di trasmissione è tanto meno **dispersivo** quanto più è capace di trasmettere fedelmente la banda senza distorsione (le fibre ottiche sono dispersive).

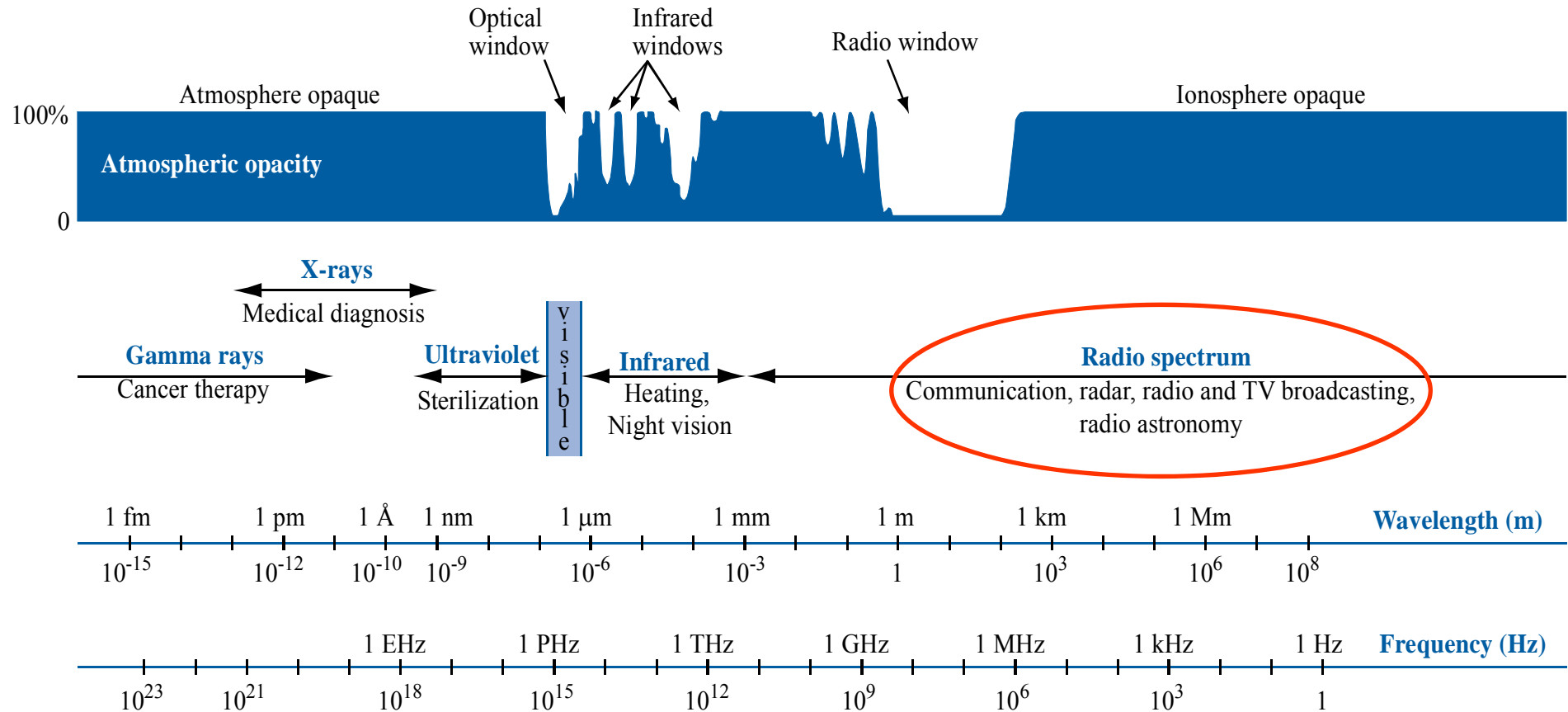
Attenuazione in guida ed in spazio libero (2/2)



Ci sono degli intervalli di distanze in cui un tipo di collegamento è preferibile all'altro dal punto di vista dell'attenuazione.

Figura in scala logaritmica

Lo spettro elettromagnetico



Lo spettro radio

- VLF (Very Low Frequencies), da 3 KHz a 30 KHz
- LF (Low Frequencies), da 30 KHz a 300 KHz
- MF (Medium Frequencies), da 300 KHz a 3 MHz
- HF (High Frequencies), da 3 MHz a 30 MHz
- VHF (Very High Frequencies), da 30 MHz a 300 MHz
- UHF (Ultra High Frequencies), da 300 MHz a 3 GHz
- SHF (Super High Frequencies), da 3 GHz a 30 GHz
- EHF (Extra High Frequencies), da 30 GHz a 300 GHz

- Dalle VLF alle HF gli effetti propagativi sono dovuti alla superficie terrestre e alla ionosfera.
- Al crescere della frequenza divengono sempre più importanti gli effetti dell'atmosfera chiara e delle idrometeore. All'interno delle bande UHF ed SHF (microonde) è spesso utilizzata una suddivisione ulteriore:

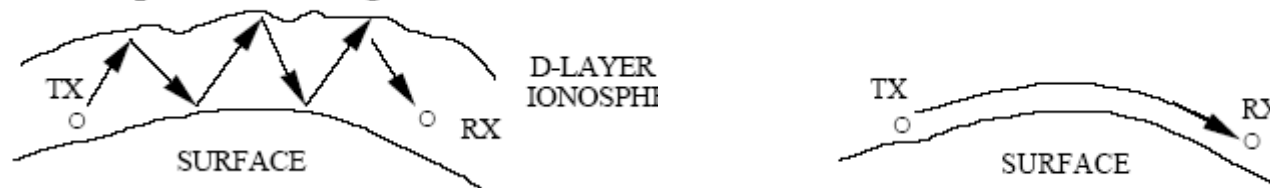


- Banda L, da 1 a 2 GHz
- Banda S, da 2 a 4 GHz
- Banda C, da 4 a 8 GHz
- Banda X, da 8 a 12 GHz
- Banda Ku, da 12 a 18 GHz
- Banda K, da 18 a 27 GHz
- Banda Ka, da 27 a 40 GHz

VLF

- $f= 3 \text{ kHz} - 30 \text{ kHz}$, $\lambda= 100 \text{ km} - 10 \text{ km}$ (onde lunghissime)
- Impiego:
 - Navigazione
 - In questa banda si trasmette bene attraverso la terra e si ha anche una buona riflessione ionosferica negli strati più bassi. Per questi motivi la banda VLF è utilizzata per **sistemi di comunicazione a grande distanza** (alcune migliaia di km).
- Sono caratterizzate da trasmettitori molto potenti (centinaia di kW) e da antenne molto grandi.
- Propagazione:
 - onda di terra (superficiale)
 - onda di cielo (riflessa dallo *strato inferiore* della ionosfera)

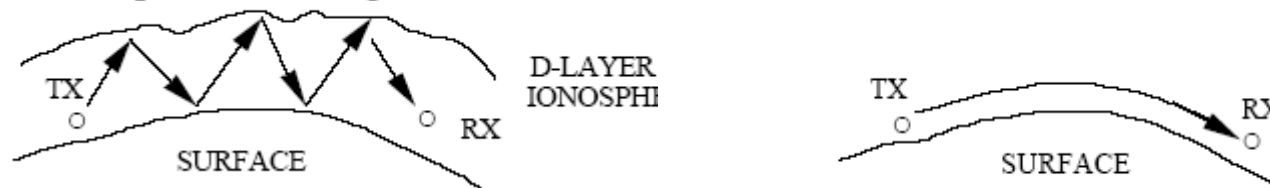
waveguide modes or "ionospheric ducting"



LF

- $f = 30 \text{ kHz} - 300 \text{ kHz}$, $\lambda = 10 \text{ km} - 1 \text{ km}$ (onde lunghe)
- Impiego:
 - La banda LF viene utilizzata nelle radiodiffusioni in onde lunghe, in radiotelegrafia, nella assistenza nella navigazione aerea e marittima.
 - l'attenuazione lungo il suolo aumenta rispetto alla VLF e la distanza utile non supera il migliaio di km.
- Le antenne sono più economiche ed efficienti della banda VLF.
- Propagazione:
 - onda di terra (superficiale)
 - onda di cielo (riflessa dallo *strato inferiore* della ionosfera)

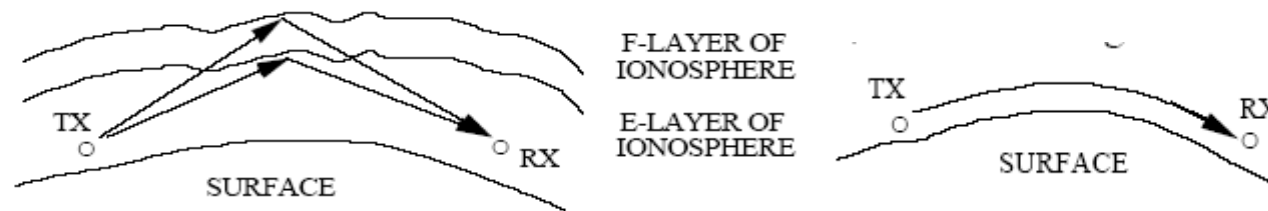
waveguide modes or "ionospheric ducting"



MF

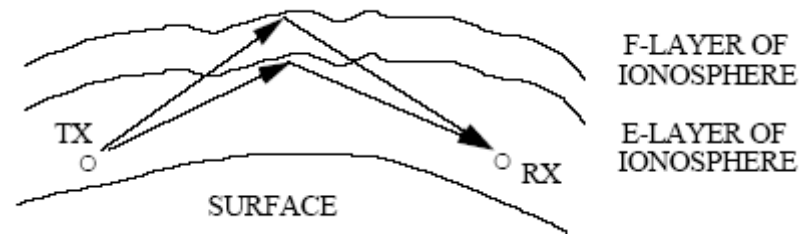
- $f=300 \text{ kHz} - 3000 \text{ kHz}$, $\lambda = 1 \text{ km} - 0.1 \text{ km}$ (onde medie)
- Impiego:
 - in questa gamma sono allocate le frequenze della **radiodiffusione in onde medie (AM)**.
 - Si può ancora sfruttare l'onda superficiale fino a coprire aree fino a centinaia di km dal trasmettitore. Per distanze maggiori l'onda superficiale è completamente attenuata e si deve sfruttare la propagazione ionosferica specialmente quella notturna
- Antenne a traliccio generalmente alimentate in modo unipolare. Potenze del trasmettitore dell'ordine di 10-100 kW
- Propagazione:
 - onda di terra (superficiale)
 - onda di cielo (riflessa dalla ionosfera)

ionospheric hop (MF and HF broadcast and communications)



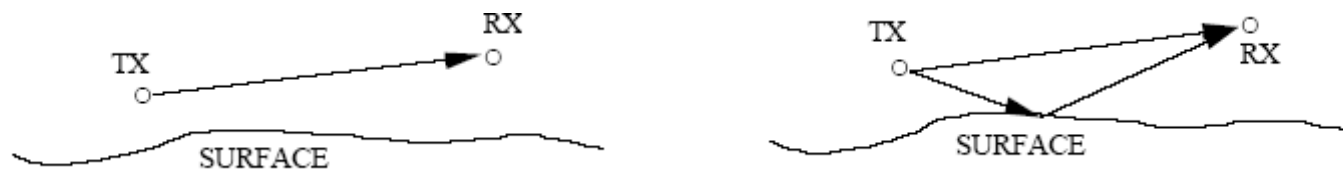
HF

- $f=3 \text{ MHz} - 30 \text{ MHz}$, $\lambda = 100 \text{ m} - 10 \text{ m}$ (onde corte)
- Impiego
 - Viene utilizzata nelle **radiodiffusioni nelle onde corte**
 - L'attenuazione lungo il suolo cresce rapidamente. Minima invece é l'attenuazione per onda ionosferica che permette comunicazioni a grandissima distanza (diverse migliaia di km). I segnali possono coprire grandi distanze con più salti mediante riflessioni successive sulla ionosfera e sulla terra.
- Propagazione:
 - onda di cielo (riflessa dalla ionosfera)



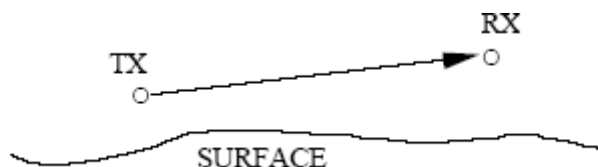
VHF

- $f=30 \text{ MHz} - 300 \text{ MHz}$, $\lambda = 10 \text{ m} - 1 \text{ m}$ (onde cortissime)
- Impiego:
 - Viene utilizzata per la **televisione (I° canale)**, radiodiffusione FM.
 - La riflessione ionosferica diventa trascurabile e la trasmissione avviene quasi esclusivamente fra punti "a vista".
 - Gli effetti più rilevanti, sono associati all'interferenza tra raggio diretto e raggio riflesso dal terreno.
- Si possono utilizzare allineamenti di antenne ad elevato guadagno. L'altezza a cui porre le antenne deve essere scelta con attenzione per evitare che onda diretta e riflessa si sommino in controfase.
- Propagazione:
 - Tra punti in visibilità (LOS): onda diretta e onda diretta + onda riflessa



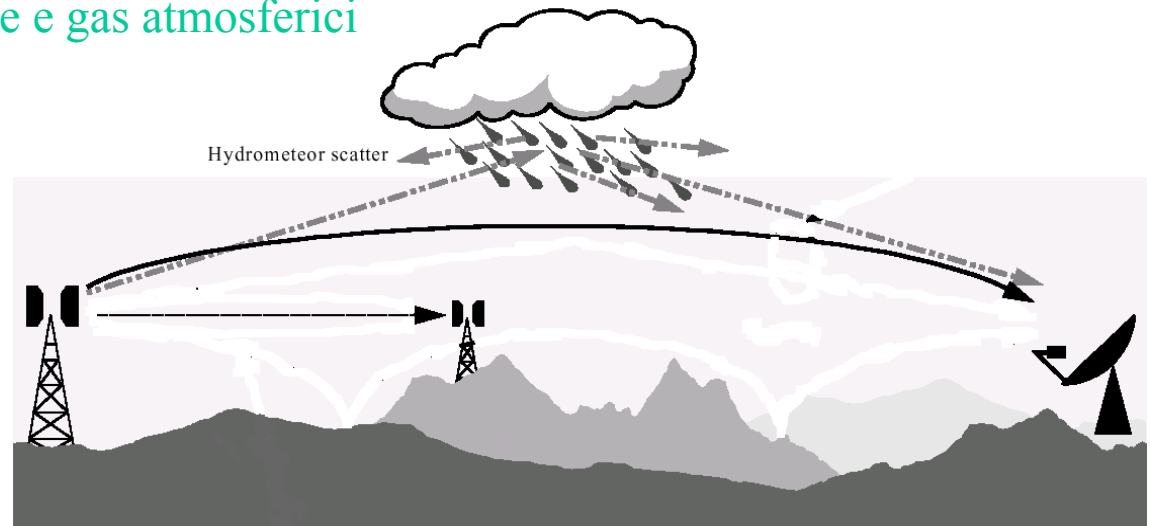
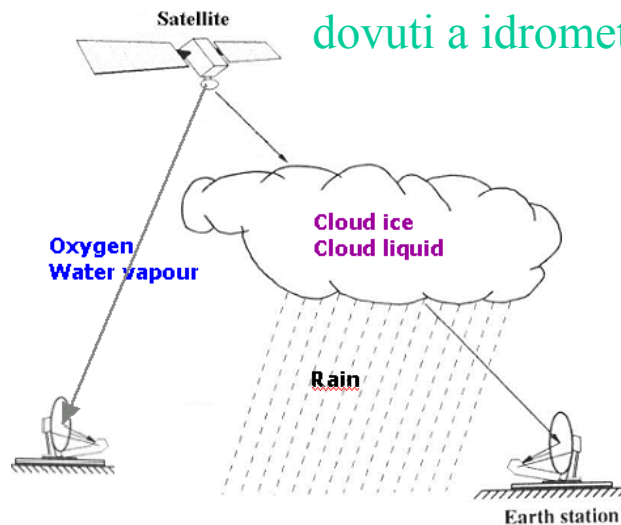
UHF

- $f=300 \text{ MHz} - 3000 \text{ MHz}$, $\lambda = 1 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$ (onde ultracorte)
- Impiego:
 - Utilizzata per **televisione**, **sistemi radar** e **sistemi per la telefonia cellulare**
 - propagazione spaziale fra punti "a vista" e possibilità di collegamenti per riflessioni.
 - gli effetti più rilevanti, sono associati all'interferenza tra raggio diretto e raggio riflesso dal terreno.
- Propagazione:
 - Tra punti in visibilità (LOS): onda diretta e onda diretta + onda riflessa



SHF - EHF

- $f=3 \text{ GHz} - 30 \text{ GHz}$, $\lambda = 10 \text{ cm} - 1 \text{ cm}$ (SHF); $f=30 \text{ GHz} - 300 \text{ GHz}$, $\lambda = 1 \text{ cm} - 0.1 \text{ cm}$ (EHF)
- Impiego
 - Utilizzate per sistemi radar, di comunicazione via satellite, di localizzazione satellitare (GPS), di telerilevamento a microonde
 - propagazione spaziale fra punti "a vista", possibilità di collegamenti per scattering troposferico (in disuso) o tramite satelliti artificiali.
 - Per $f > 10 \text{ GHz}$, diventano preponderanti attenuazione e scattering dovuti a idrometeore e gas atmosferici





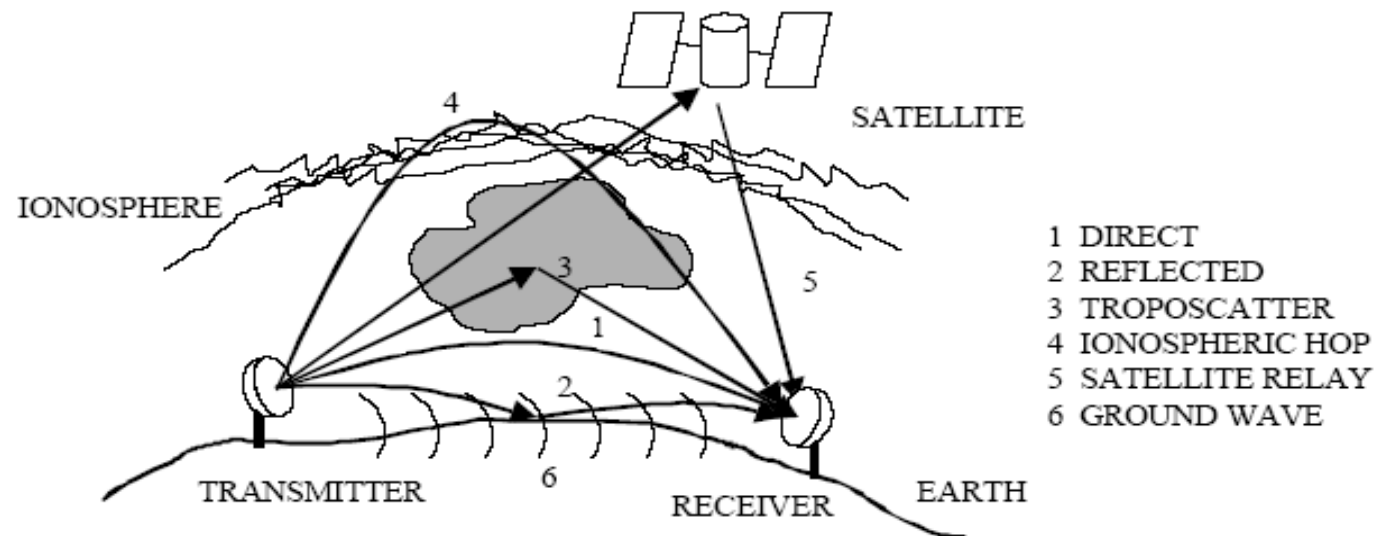
Radiopropagazione e meccanismi di interazione

- Effetti propagativi e applicazioni
- Meccanismi di interazione tra radiazione e.m. e ambiente
- Radiazioni naturali
- Cenni storici e situazione attuali

Principali applicazioni degli effetti propagativi

| | |
|------------------------------------|---|
| Direct | Most radars; SHF links from ground to satellites |
| Direct plus Earth reflections | UHF broadcast TV with high antennas; ground-to-air and air-to-ground communications |
| Ground wave | Local Standard Broadcast (AM), |
| Tropospheric paths | Microwave links |
| Waveguide modes | VLF and LF systems for long-range communication and navigation (Earth and D-layer form the waveguide) |
| Ionospheric hops (E- and F-layers) | MF and HF broadcast communications (including most long-distance amateur communications) |

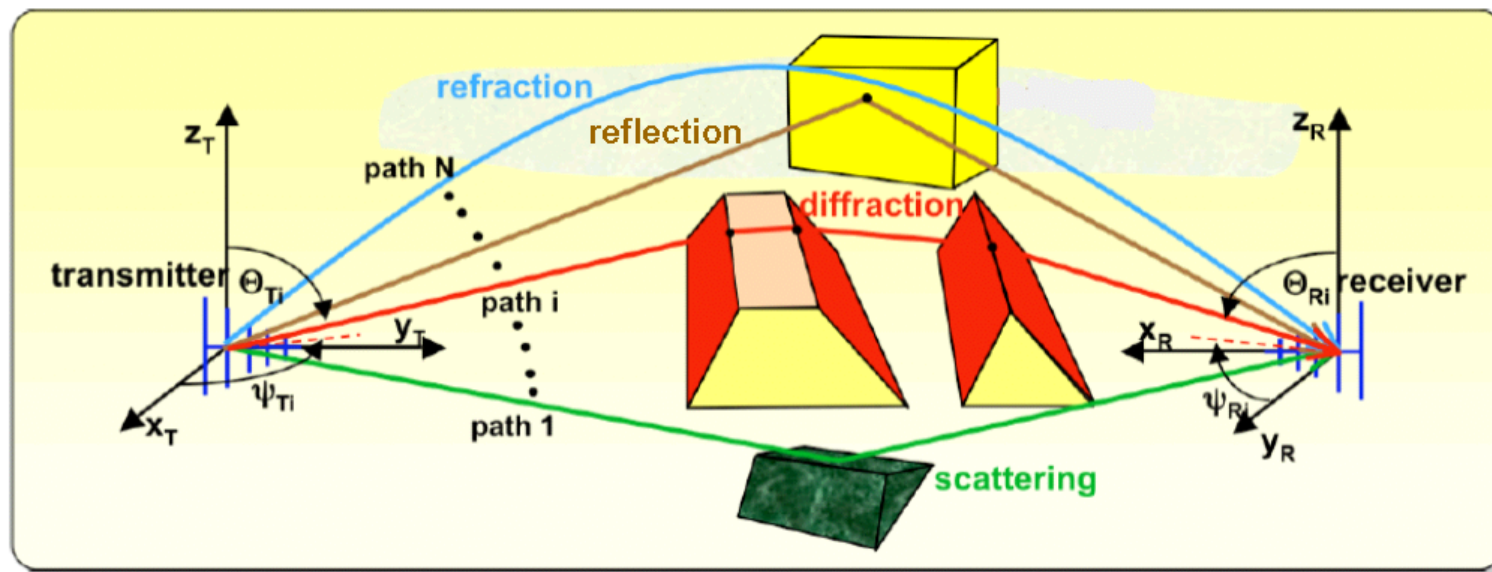
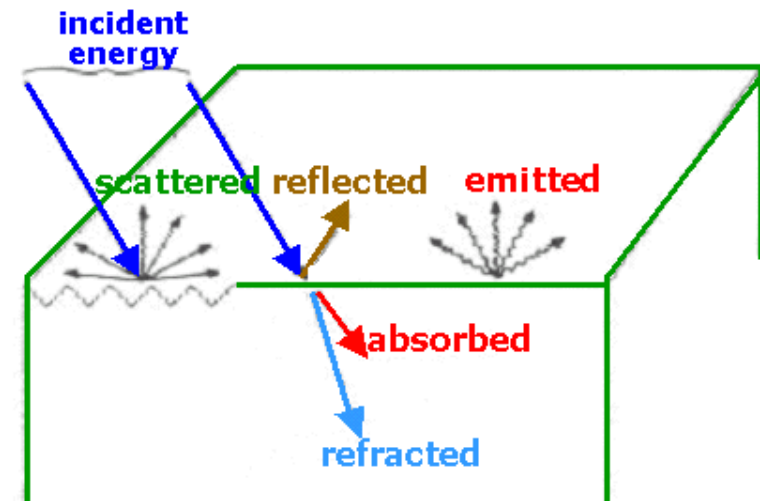
Meccanismi di interazione tra radiazione e.m. e ambiente (1/2)



- Principali (ma non unici) meccanismi fisici considerati:
 - **Onda superficiale**: scambio di potenza tra le correnti indotte sulla superficie ed il campo e.m. al di sopra di essa (6).
 - **Riflessione** (2, 4).
 - **Diffrazione**: reirradiazione del campo e.m. al di là di ostacoli.
 - **Rifrazione**: incurvamento del percorso e.m. all'interno di un mezzo in cui si hanno variazioni di costante dielettrica (1, 4).
 - **Diffusione (scattering)**: quando l'onda incide su corpi di piccole dimensioni (paragonabili alla lunghezza d'onda, es. gocce di pioggia a microonde) si ha reirradiazione in direzioni diverse da quella di incidenza (3).
 - **Assorbimento**: cessione di potenza e.m. dall'onda al mezzo, con conseguente attenuazione dell'onda. Per il principio di conservazione dell'energia i mezzi che assorbono producono anche emissione.

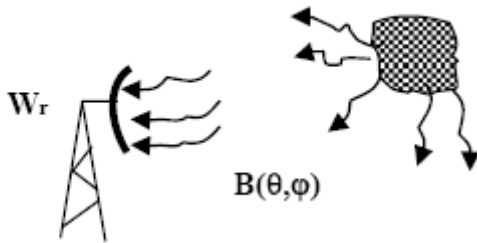
Meccanismi di interazione tra radiazione e.m. e ambiente (2/2)

- ▶ riflessione
- ▶ scattering (diffusione)
- ▶ rifrazione
- ▶ diffrazione
- ▶ assorbimento
- ▶ emissione



Radiazioni naturali

- Un'antenna ricevente capta non solo segnale utile, ma anche una *molteplicità di segnali emessi da corpi radianti situati nell'ambiente circostante (rumore)*.
- In alcuni casi (*radiometri*) l'antenna capta solo rumore.
- Ogni corpo con una temperatura T al di sopra dello zero assoluto ($0\text{ K} = -273.15\text{ °C}$) irradia energia e.m. (radiazioni naturali).
- Le radiazioni naturali sono incoerenti^(*) (quindi sommabili in potenza) e distribuite angolarmente ed in frequenza. Sono descrivibili tramite un parametro detto radianza o brillantezza B [$\text{W sr}^{-1} \text{ m}^{-2}$].
- Un corpo, secondo le sue caratteristiche (corpo nero, grigio, colorato) emette una brillantezza B . Questa nell'attraversare un mezzo penetrabile, che assorbe emette e diffonde la radiazione e.m. (p.es. atmosfera) presenta un andamento spaziale descrivibile tramite la *teoria del trasferimento radiativo*.



^(*)Due segnali a valor medio nullo si dicono *mutuamente incoerenti* se la loro "potenza mutua", ossia la media temporale del loro prodotto è nulla (mediando su un intervallo di tempo molto più lungo dell'inverso della loro banda)

Cenni storici

- **Primi esperimenti** di propagazione e.m. risalenti alla fine dell'800 (H. Hertz, 1897; G. Marconi, 1894).
- Per molti decenni (fino alla metà del 900) la radiodiffusione utilizzando le **frequenze fino all'HF** (onde corte, 3-30 MHz) fu l'applicazione dominante e gli studi erano finalizzati alla propagazione per onda superficiale e per riflessione ionosferica.
- Dalla metà del 900 si ebbe un notevole sviluppo del radar legato inizialmente ad applicazioni militari. Cominciarono quindi studi dei fenomeni propagativi alle frequenze più alte fino a SHF, in particolare **radar e ponti radio**.
- Dal dopoguerra la diffusione di **servizi telefonici e televisivi in banda VHF** produsse lo sviluppo di sistemi terrestri sia punto-punto che a copertura limitata. Ebbero quindi importanza i problemi della riflessione del terreno e della diffrazione da ostacoli.
- Dagli anni '70 in poi, il crescente sviluppo delle **telecomunicazioni via satellite** produsse un orientamento degli studi sugli effetti propagativi subiti dalle **microonde** attraversanti la ionosfera. Contemporaneamente, si avviarono investigazioni sugli effetti della troposfera, in particolare turbolenza e pioggia.

Situazione attuale

- Gli anni più recenti sono caratterizzati dai seguenti elementi.
 - La notevole crescita delle **telecomunicazioni con mezzi mobili** rende importante caratterizzare bene gli effetti *propagativi in ambiente urbano*, anche all'interno di edifici.
 - Le **telecomunicazioni via satellite** tendono ad usare in modo crescente le *frequenze dai 30 GHz (banda Ku, Ka) in su*, per le quali gli effetti atmosferici, inclusi quelli delle nubi, sono importanti.
 - Si diffondono sistemi spaziali per *applicazioni diverse dalle telecomunicazioni* quali **telerilevamento e radionavigazione (GPS)**.
 - L'enorme diffusione di servizi di vario tipo utilizzando lo spettro radioelettrico con vari livelli di potenza, e la contemporanea crescita della sensibilità delle popolazioni ai problemi ambientali rende attuali i problemi di **impatto ambientale dei campi elettromagnetici** («inquinamento elettromagnetico»). Si tratta di problemi confinanti, e in parte sovrapposti, con quelli di propagazione e.m..

Situazione attuale: applicazioni principali

- **Sistemi di radiodiffusione.** Sono usati per trasmettere fino a distanze molto elevate, anche intercontinentali. Usano frequenze fino alle HF. Gli effetti propagativi dominanti sono *l'onda superficiale e la riflessione ionosferica*.
- **Sistemi a copertura limitata** per terminali fissi o mobili. Usano in genere le bande VHF e UHF. Sono influenzati dagli *effetti del terreno e degli ostacoli*, con moderati effetti atmosferici.
- **Sistemi terrestri punto-punto (ponti radio).** Utilizzano prevalentemente le frequenze SHF, subendo *effetti dovuti all'atmosfera e alle idrometeore, oltre a riflessione dal terreno e diffrazione da ostacoli*.
- **Sistemi spaziali,** per telecomunicazioni, telerilevamento, GPS. Utilizzano le bande UHF e SHF. *Sono soprattutto influenzati dall'atmosfera e dalle idrometeore*.
- **Sistemi radar.** In genere usano le frequenze SHF ed EHF, subendo *effetti dovuti all'atmosfera e alle idrometeore*, oltre a diffusione (scattering) dal terreno. Fanno eccezione i radar Over the Horizon (OTH), che usano frequenze basse e per i quali sono importanti gli effetti ionosferici e di onda superficiale.



Radare meteorologia a microonde

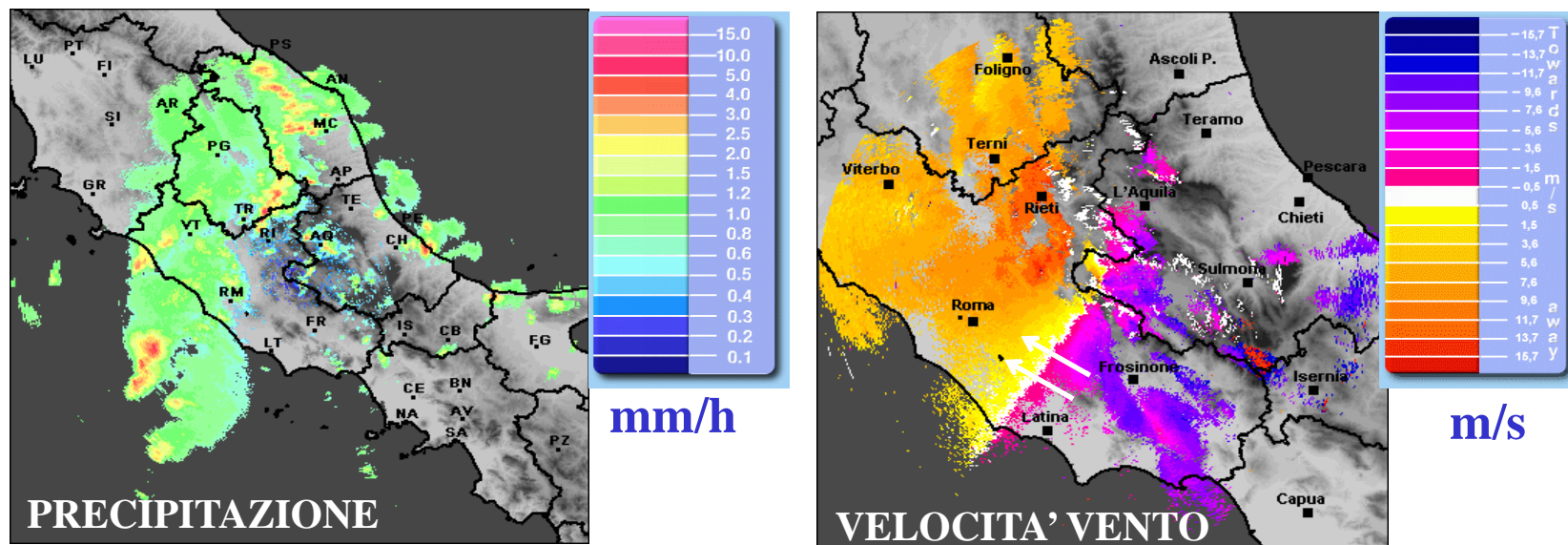
- Principi di misura
- Sistemi radar
- Applicazioni

Radar meteorologici

RADAR è l'acronimo di **R**Adio **D**etection **A**nd **R**anging

Permette di **stimare** in tempo quasi reale (≤ 10 minuti) e su vaste aree (fino a 200 km^2) ad alta risoluzione spaziale ($< 1 \text{ km}^3$)

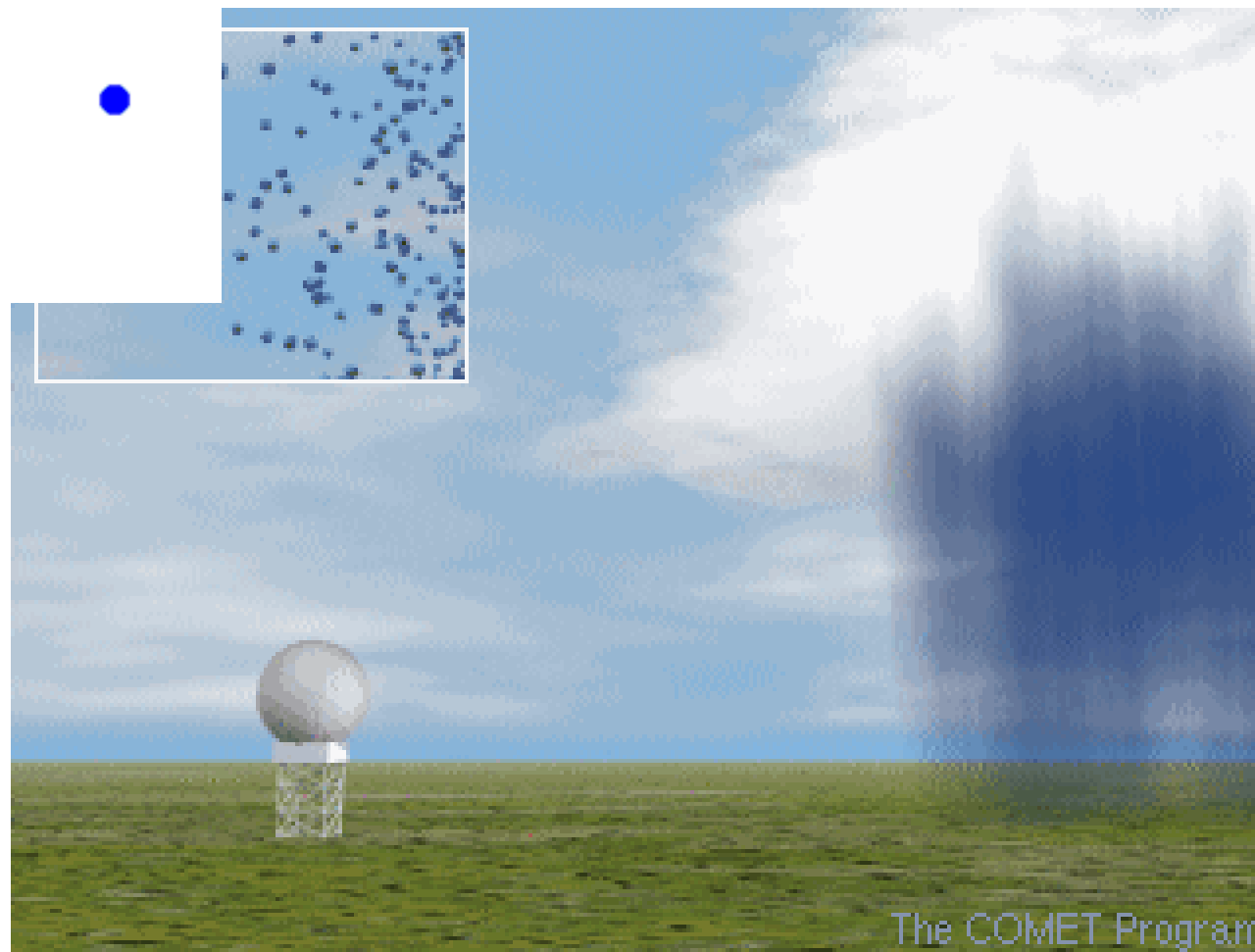
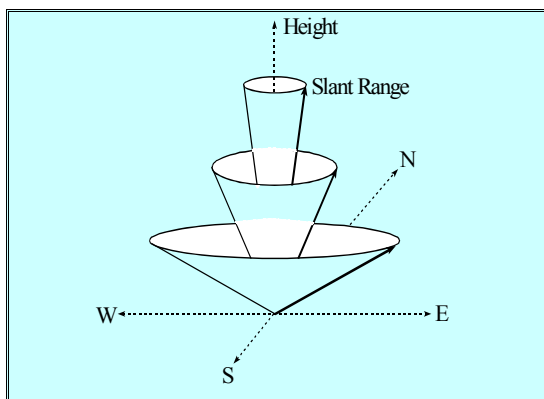
- l'intensità di **precipitazione**, il tipo e quantità di idrometeorie (pioggia, neve, grandine) in atmosfera
- velocità e direzione di **spostamento** del sistema precipitativo



Principio di misura radar



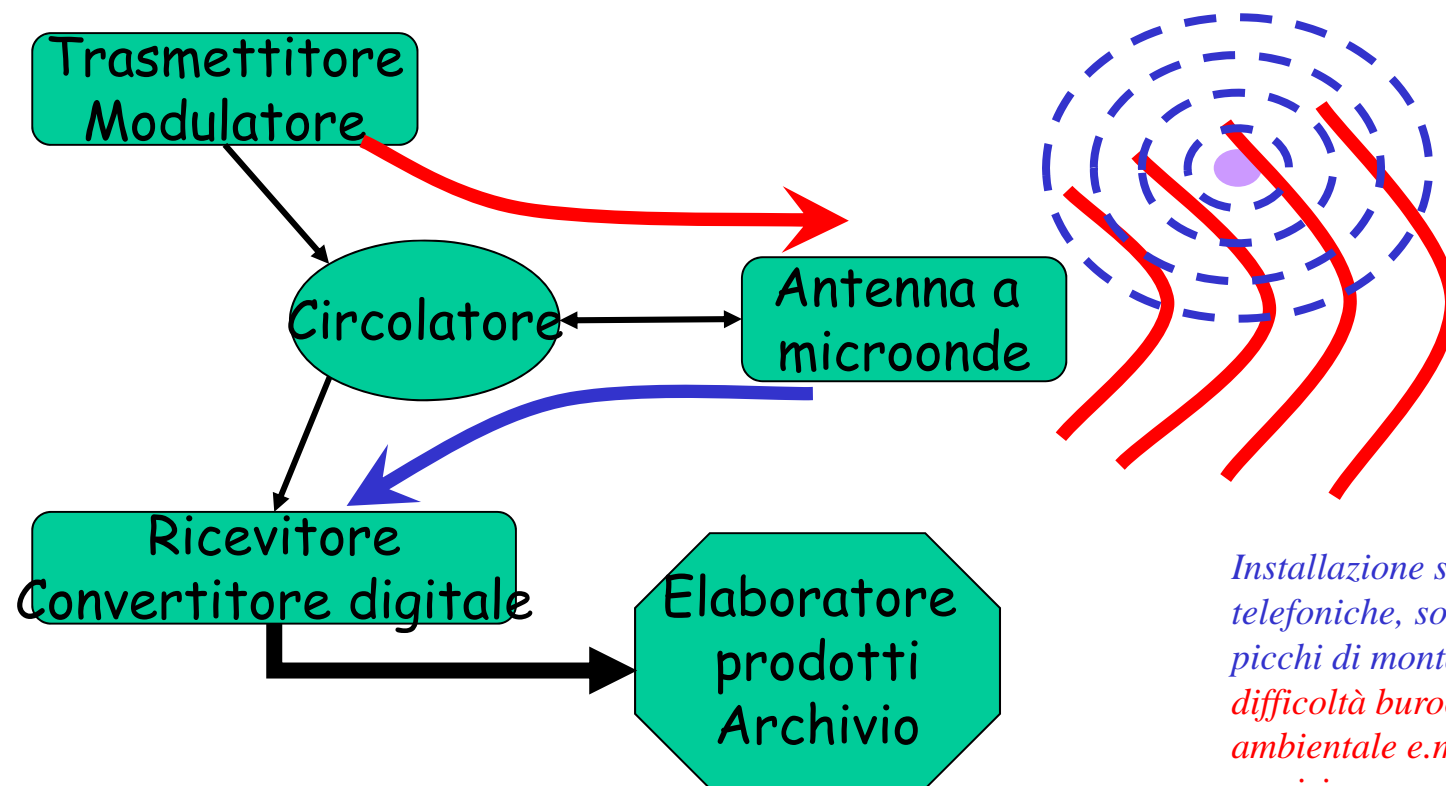
Sistema radar



Sistemi radar

Nei radar le componenti fondamentali sono 4:

- Trasmettitore (klystron, magnetron: potenze max fino a 250 kW)
- Modulatore, circolatore e antenna (riflettore)
- Ricevitore (supereterodina, convertitore digitale)
- Elaboratore e archivio di prodotti (calibrazione, algoritmi)



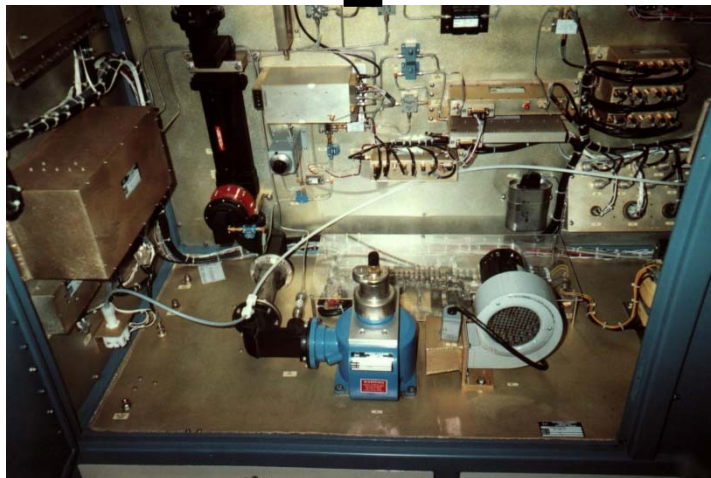
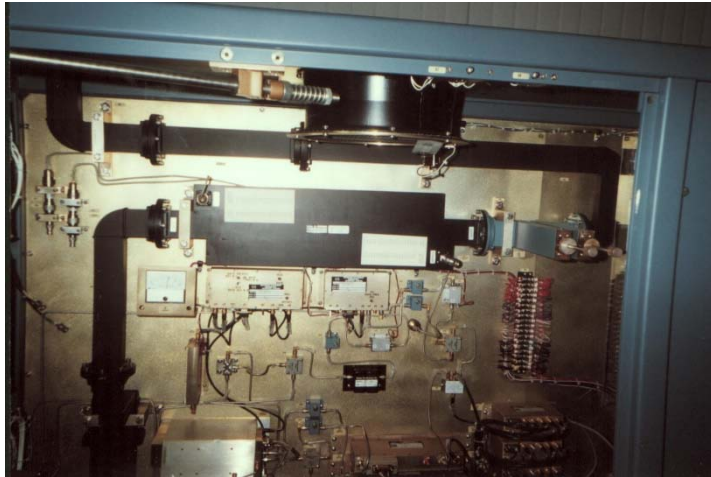
Installazione su palazzi, torri telefoniche, sommità di colline, picchi di montagne, mezzi mobili: difficoltà burocratiche, impatto ambientale e.m., «conferenza dei servizi»

Frequenze radar

I radar meteorologici operano nel campo delle **microonde (lunghezze d'onda centimetriche)**: ciò ne consente l'impiego per la stima delle precipitazioni essendo le **dimensioni delle idrometeore (pioggia, neve, grandine)** confrontabile con la lunghezza d'onda dello strumento (teoria della diffusione e.m.).

| | Lunghezza d'onda | Frequenza | Vantaggi e svantaggi |
|----------------|--------------------|------------------|---|
| Banda S | 15-7,5 cm | 2-4 GHz | Non risentono dell'attenuazione Adatti in regioni tropicali Ingombri e costi notevoli |
| Banda C | 7,5-3,75 cm | 4-8 GHz | Risentono dell'attenuazione La più usata in Europa Ingombri e costi contenuti |
| Banda X | 3,75-2,5 cm | 8-12 GHz | Risentono molto dell'attenuazione Usati per scopi di ricerca (nubi) Ingombri contenuti e costi medi |
| Banda K | 2,5-0,75 cm | 12-40 GHz | |

Esempio: radar meteo di M. Midia, AQ



Esempio: radar meteo di Roma SPV



Sapienza LabRadioMet

<https://cispio.diet.uniroma1.it/marzano/LabRadioMet.htm>

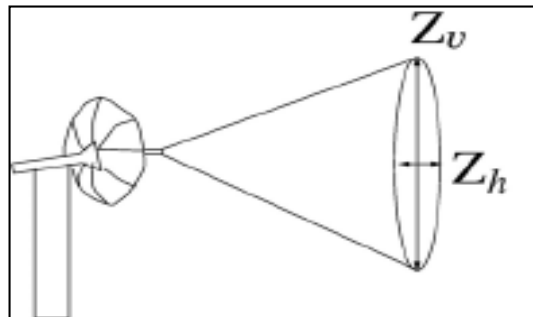
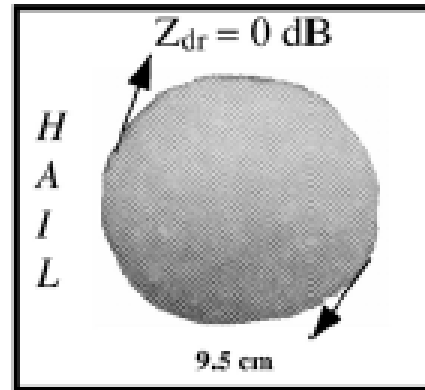
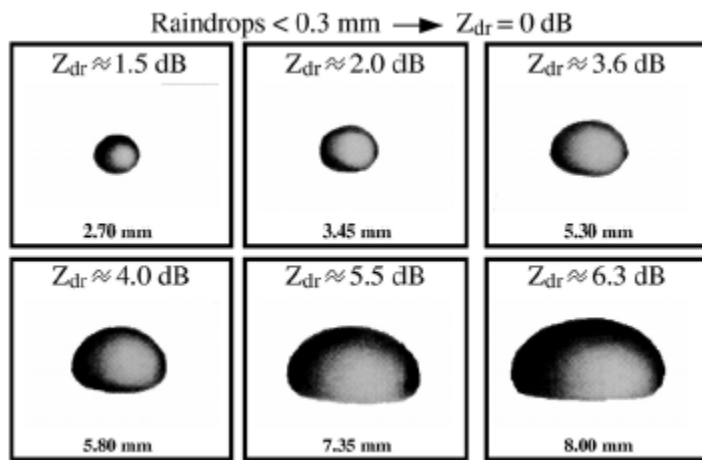
Sapienza UniRoma
Facoltà di Ingegneria
CRAS/DIET

Via Eudossiana 18, Roma
(S. Pietro in Vincoli)



Idrometeore e forma

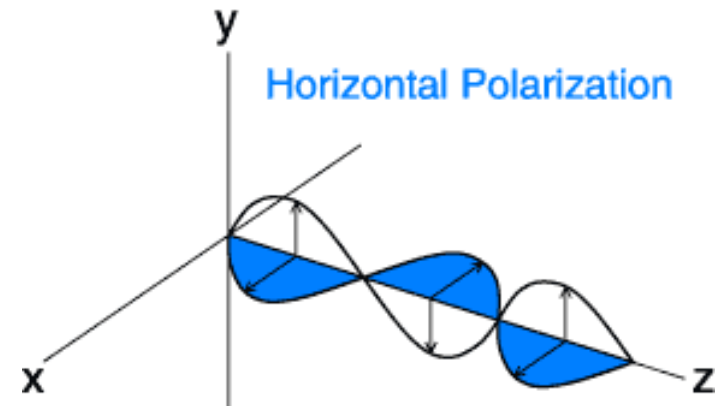
Le idrometeore NON sono esattamente sferiche: quindi la retrodiffusione della polarizzazione orizzontale è diversa da quella verticale



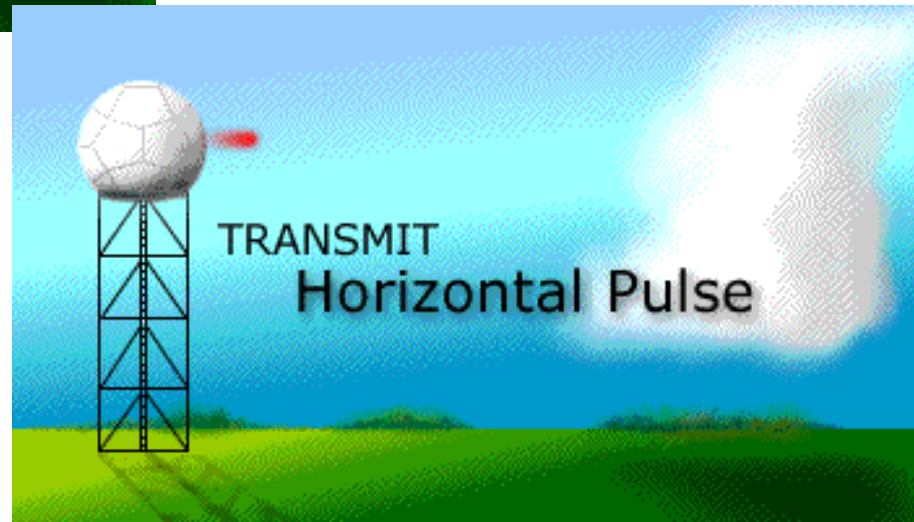
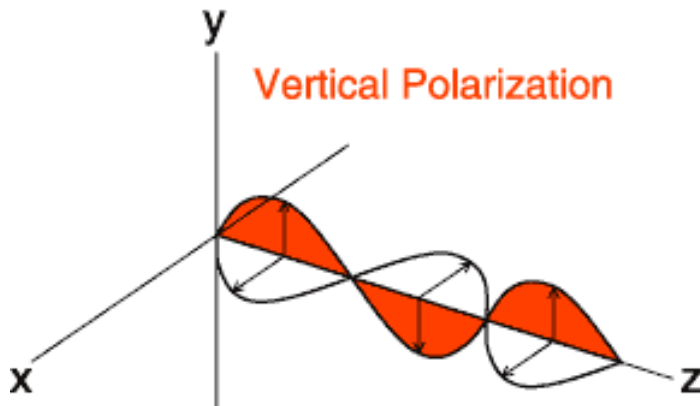
Oblate → $Z_{DR} > 0$
Sfere → $Z_{DR} = 0$
Prolate → $Z_{DR} < 0$

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

Doppia polarizzazione



Singola polarizzazione



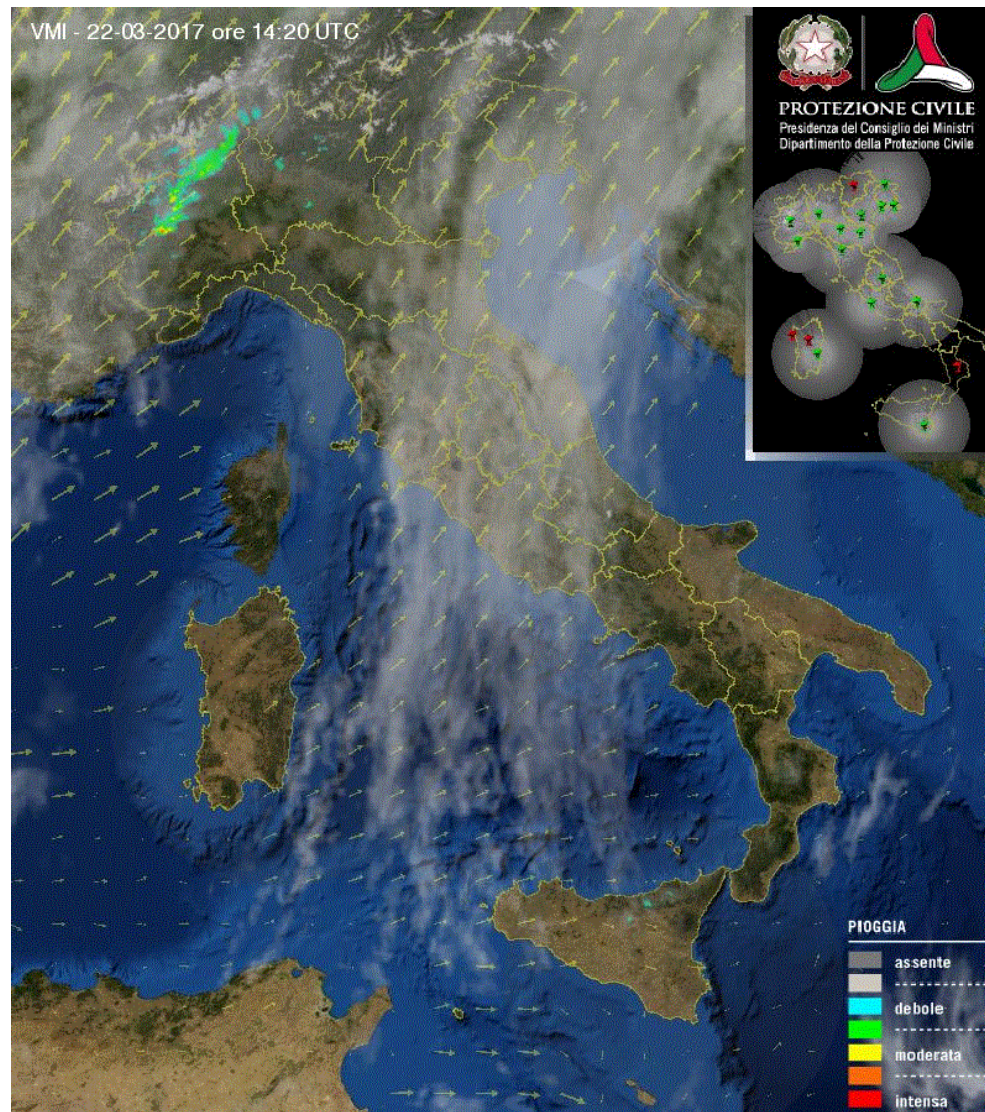
Doppia polarizzazione

Rete radar meteorologica nazionale

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/mappa_radar.wp

Animazione della mappa del mosaico radar del 22 marzo 2017 dalle 14 alle 20 UTC.

Sovrapposizione con copertura nuvolosa e campo vettoriale di vento da satellite.



Avvertenze

I dati vengono pubblicati in tempo reale, dunque non sono ancora stati sottoposti a un processo di validazione. Le informazioni contenute nelle immagini hanno quindi solo carattere divulgativo. Non è possibile diffondere, pubblicare, commercializzare né utilizzare le immagini, anche in parte, se non concordato con il Dipartimento della Protezione Civile.

Le immagini visualizzate sono un prodotto di quanto acquisito ogni 10 minuti dai radar operativi e regolarmente funzionanti della Rete Radar Nazionale e si riferiscono al Vertical Maximum Intensity (VMI), che rappresenta il valore massimo di riflettività – o valore di ritorno – presente sulla verticale di ogni punto. L'orario indicato si riferisce al Tempo Coordinato Universale - UTC.

In caso di malfunzionamento di un radar il quadro riportato potrebbe risultare parziale. Inoltre, il segnale potrebbe incontrare ostacoli come colline o montagne che impediscono di raggiungere le idrometeore e quindi di stimare la presenza di eventuali perturbazioni.

L'immagine in alto a destra rappresenta l'effettiva copertura dei radar operativi sul territorio nazionale. I radar attivi sono rappresentati in verde.

Il VMI presentato è dunque, a titolo esemplificativo, un prodotto riferito al composito nazionale, dando evidenza del contributo di ciascuna amministrazione partecipante al fine di rendere pubblico in modo tangibile lo sforzo compiuto in questi ultimi anni da parte di tutti gli attori che concorrono alla realizzazione della Rete Radar Nazionale.

Con il pulsante centrale è possibile osservare l'animazione delle immagini acquisite nelle 24 ore. Con i due pulsanti laterali si può procedere avanti o indietro fotogramma per fotogramma.

BY-NC-ND

I contenuti in questa pagina sono distribuiti con Licenza [Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 3.0 Italia](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/it/)



Normative internazionali di radiopropagazione

- Aspetti normativi
- ITU (International Telecommunication Union)
- Raccomandazioni ITU-R

Normative

- Per concludere si devono precisare i contorni entro cui la propagazione si può sviluppare: essi sono dettati da un quadro normativo internazionale che gestisce lo spettro delle radiofrequenze.
- L'ente normatore è l'ITU (**International Telecommunication Union: Unione Internazionale delle Telecomunicazioni**) con sede a Ginevra che periodicamente rivede, sulla base delle sempre nuove esigenze, le assegnazioni delle varie gamme di frequenza ai vari servizi e nelle varie parti del mondo. Le attribuzioni dell'ITU vengono convertite in legge dalle varie nazioni.
- Esempio di allocazione a servizi vari (dal piano nazionale di ripartizione delle frequenze).

| Banda di frequenze (MHz) | | Servizio | Gestore |
|--------------------------|------------|--|-------------------------|
| inizio banda | fine banda | | |
| 0.53 | 1.61 | Radiodiffusione | Ministero comunicazioni |
| 47.00 | 52.50 | Mobile Terrestre | Ministero difesa |
| 87.50 | 108.00 | Radiodiffusione | Ministero comunicazioni |
| 117.97 | 136.00 | Mobile Aeronautico | Ministero comunicazioni |
| 608.00 | 854.00 | Radiodiffusione (TV) | Ministero comunicazioni |
| 2700.00 | 290.00 | Radionavigazione e radiolocalizzazione | Ministero difesa |
| 11 700.00 | 12 500.00 | Radiodiffusione via satellite | Ministero comunicazioni |
| 22 000.00 | 22 210.00 | Radioastronomia | Ministero comunicazioni |

Organizzazione ITU

- L'**Unione internazionale delle telecomunicazioni, ITU (International Telecommunication Union)** è un'organizzazione internazionale che si occupa di definire gli standard nelle telecomunicazioni e nell'uso delle onde radio. È stata fondata il **17 maggio 1865** a Parigi da 20 membri con il nome di International Telegraph Union, cambia con il nome attuale nel 1932. Dal 1947 è una delle agenzie specializzate delle Nazioni Unite e l'attuale **sede è a Ginevra**. Il **17 maggio** viene festeggiata La Giornata Mondiale delle Telecomunicazioni e della Società dell'Informazione.
- Gli **scopi principali** che si è prefissata alla sua creazione sono:
 - i) estendere la cooperazione internazionale (per migliorare le telecomunicazioni);
 - ii) favorire lo sviluppo dei mezzi tecnici ed il loro sfruttamento più efficace;
 - iii) armonizzare gli sforzi delle nazioni verso i fini comuni.



Settori ITU

La ITU è divisa in tre settori:

- 1. ITU-R o Settore radiocomunicazioni (Radiocom, fino al 1993 CCIR, Comité consultatif international des radiocommunications):** si occupa dell'organizzazione e della ripartizione mondiale delle radiofrequenze e delle orbite dei satelliti di telecomunicazione, queste ultime limitate risorse naturali sono oggetto di una crescente domanda di fruizione da parte di diversi servizi fissi e mobili, broadcast, radioamatori, ricerche spaziali, comunicazioni di emergenza, GPS, servizi di controllo ambientale e di comunicazione, che assicurano sicurezza in cielo, terra e mare.
- 2. ITU-T o Settore standardizzazione (Telecom, fino al 1993 CCITT, Comité Consultatif international téléphonique et télégraphique):** gli standard ITU costituiscono la base delle moderne tecnologie di informazione e di comunicazione. Sviluppate da gruppi di studio costituiti da esperti sia del settore pubblico che privato, le raccomandazioni ITU aiutano a gestire il traffico globale delle informazioni permettendo un armonico sviluppo sociale ed economico in tutto il mondo.
- 3. ITU-D o Settore sviluppo (Development, fino al 1993 BDT, Bureau de Développement des Télécommunications):** il compito di questo settore è quello di consentire a tutti gli abitanti del pianeta di comunicare attraverso l'accesso a infrastrutture e ai servizi di informazione e comunicazione. Questo settore agisce in concreto come una agenzia esecutiva e specializzata delle Nazioni unite per lo sviluppo di progetti in questo ambito.

Raccomandazioni ITU-R (1/7)

| | <u>LIST OF R RECOMMENDATIONS IN FORCE</u> | |
|--|---|--|
| | SERIES P – Radiowave propagation | |
| ITU-R P.310-9 (08/94) | Definitions of terms relating to propagation in non-ionized media | |
| ITU-R P.311-12 (03/05) | Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric propagation | |
| ITU-R P.313-10 (03/05) | Exchange of information for short-term forecasts and transmission of ionospheric disturbance warnings | |
| ITU-R P.341-5 (10/99) | The concept of transmission loss for radio links | |
| ITU-R P. 368-9 (02/07) | Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz | |
| ITU-R P.371-8 (07/99) | Choice of indices for long-term ionospheric predictions | |
| ITU-R P. 372-9 (08/07) | Radio noise | |
| ITU-R P.452-13 (08/07) | Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz | |
| ITU-R P.453-9 (04/03) | The radio refractive index: its formula and refractivity data | |
| ITU-R P.525-2 (08/94) | Calculation of free-space attenuation | |

Raccomandazioni ITU-R (2/7)

| | |
|--|---|
| ITU-R P.526-10 (02/07) | Propagation by diffraction |
| ITU-R P.527-3 (03/92) | Electrical characteristics of the surface of the Earth |
| ITU-R P.528-2 (07/86) | Propagation curves for aeronautical mobile and radionavigation services using the VHF, UHF and SHF bands |
| ITU-R P.530-12 (02/07) | Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems |
| ITU-R P.531-9 (02/07) | Ionospheric propagation data and prediction methods required for the design of satellite services and systems |
| ITU-R P.532-1 (03/92) | Ionospheric effects and operational considerations associated with artificial modification of the ionosphere and the radio-wave channel |
| ITU-R P.533-9 (11/07) | HF propagation prediction method |
| ITU-R P.534-4 (10/99) | Method for calculating sporadic-E field strength |
| ITU-R P.581-2 (06/90) | The concept of "worst month" |

Raccomandazioni ITU-R (3/7)

| | |
|---------------------------------------|--|
| ITU-R P.617-1 (03/92) | Propagation prediction techniques and data required for the design of trans-horizon radio-relay systems |
| ITU-R P.618-9 (08/07) | Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems |
| ITU-R P.619-1 (03/92) | Propagation data required for the evaluation of interference between stations in space and those on the surface of the Earth |
| ITU-R P.620-6 (03/05) | Propagation data required for the evaluation of coordination distances in the frequency range 100 MHz to 105 GHz |
| ITU-R P.676-6 (03/05) | Attenuation by atmospheric gases |
| ITU-R P.678-1 (03/92) | Characterization of the natural variability of propagation phenomena |
| ITU-R P.679-3 (02/01) | Propagation data required for the design of broadcasting-satellite systems |
| ITU-R P.680-3 (10/99) | Propagation data required for the design of Earth-space maritime mobile telecommunication systems |
| ITU-R P.681-6 (04/03) | Propagation data required for the design of Earth-space land mobile telecommunication systems |
| ITU-R P.682-2 (02/07) | Propagation data required for the design of Earth-space aeronautical mobile telecommunication systems |
| ITU-R P.684-4 (03/05) | Prediction of field strength at frequencies below about 150 kHz |

Raccomandazioni ITU-R (4/7)

| | |
|---------------------------------------|---|
| ITU-R P.832-2 (07/99) | World Atlas of Ground Conductivities |
| ITU-R P.833-6 (02/07) | Attenuation in vegetation |
| ITU-R P.834-6 (01/07) | Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation |
| ITU-R P.835-4 (03/05) | Reference Standard Atmospheres |
| ITU-R P.836-3 (11/01) | Water vapour: surface density and total columnar content |
| ITU-R P.837-5 (08/07) | Characteristics of precipitation for propagation modelling |
| ITU-R P.838-3 (03/05) | Specific attenuation model for rain for use in prediction methods |
| ITU-R P.839-3 (02/01) | Rain height model for prediction methods |
| ITU-R P.840-3 (10/99) | Attenuation due to clouds and fog |
| ITU-R P.841-4 (03/05) | Conversion of annual statistics to worst-month statistics |
| ITU-R P.842-4 (02/07) | Computation of reliability and compatibility of HF radio systems |
| ITU-R P.843-1 (08/97) | Communication by meteor-burst propagation |
| ITU-R P.844-1 (08/94) | Ionospheric factors affecting frequency sharing in the VHF and UHF bands (30 MHz-3 GHz) |
| ITU-R P.845-3 (08/97) | HF field-strength measurement |

Raccomandazioni ITU-R (5/7)

| | |
|--|---|
| ITU-R P.846-1 (10/95) | Measurements of ionospheric and related characteristics |
| ITU-R P.1057-2 (08/07) | Probability distributions relevant to radiowave propagation modelling |
| ITU-R P.1058-2 (10/99) | Digital topographic databases for propagation studies |
| ITU-R P.1060 (08/94) | Propagation factors affecting frequency sharing in HF terrestrial systems |
| ITU-R P.1144-4 (02/07) | Guide to the application of the propagation methods of Radiocommunication Study Group 3 |
| ITU-R P.1147-4 (08/07) | Prediction of sky-wave field strength at frequencies between about 150 and 1 700 kHz |
| ITU-R P.1148-1 (05/97) | Standardized procedure for comparing predicted and observed HF sky-wave signal intensities and the presentation of such comparisons |
| ITU-R P.1238-5 (02/07) | Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz |
| ITU-R P.1239-1 (02/07) | ITU-R Reference ionospheric characteristics |
| ITU-R P.1240-1 (02/07) | ITU-R Methods of basic MUF, operational MUF and ray-path prediction Rec. ITU-R P.434-6 |

Raccomandazioni ITU-R (6/7)

| | |
|---|--|
| ITU-R P.1321-2 (02/07) | Propagation factors affecting systems using digital modulation techniques at LF and MF |
| ITU-R P.1322 (08/97) | Radiometric estimation of atmospheric attenuation |
| ITU-R P.1406-1 (08/07) | Propagation effects relating to terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands |
| ITU-R P.1407-3 (02/07) | Multipath propagation and parameterization of its characteristics |
| ITU-R P.1409 (10/99) | Propagation data and prediction methods required for the design of systems using high altitude platform stations at about 47 GHz |
| ITU-R P.1410-4 (02/07) | Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial broadband millimetric radio access systems operating in a frequency range of about 20-50 GHz |
| ITU-R P.1411-04 (08/07) | Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz |
| ITU-R P.1412 (10/99) | Propagation data for the evaluation of coordination between Earth stations working in the bidirectionally allocated frequency bands |
| ITU-R P.1510 (02/01) | Annual mean surface temperature |

Raccomandazioni ITU-R (7/7)

| | |
|--|---|
| ITU-R P.1511 (02/01) | Topography for Earth-to-space propagation modelling |
| ITU-R P.1546-3 (11/07) | Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz |
| ITU-R P.1621-1 (03/05) | Propagation data required for the design of Earth-space systems operating between 20 THz and 375 THz |
| ITU-R P.1622 (04/03) | Prediction methods required for the design of Earth-space systems operating between 20 THz and 375 THz |
| ITU-R P.1623-1 (03/05) | Prediction method of fade dynamics on Earth-space paths |
| ITU-R P.1791 (10/07) | Propagation prediction methods for assessment of the impact of ultra-wideband devices |
| ITU-R P.1812 (11/07) | A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands |
| ITU-R P.1814 (08/07) | Prediction methods required for the design of terrestrial free-space optical links |
| ITU-R P.1815 (08/07) | Differential rain attenuation |
| ITU-R P.1816 (08/07) | The prediction of the time and the spatial profile for broadband land mobile services using UHF and SHF bands |
| ITU-R P.1817 (08/07) | Propagation data required for the design of terrestrial free-space optical links |