

Unione Astrofili  
Napoletani

I Mercoledì del Cielo

Introduzione alla  
radioastronomia

Gino Di Ruberto

## Onde elettromagnetiche

Sono oscillazioni del campo elettrico e del campo magnetico.

Come la luce, anche le onde radio sono onde elettromagnetiche.

Le onde elettromagnetiche sono caratterizzate da

- frequenza  $f$
- lunghezza d'onda  $\lambda$

La frequenza si misura in Hz = oscillazioni al secondo, con i multipli

$$1 \text{ kHz} = 1.000 \text{ Hz} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 1.000.000 \text{ Hz} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ GHz} = 1.000.000.000 \text{ Hz} = 10^9 \text{ Hz}$$

Frequenza e lunghezza d'onda sono inversamente proporzionali, cioè se aumenta una diminuisce l'altra:

$$c = \lambda f$$

dove  $c = 300.000 \text{ km/s}$  velocità di propagazione nel vuoto

## Spettro elettromagnetico

- onde radio:  $\lambda \geq 30 \text{ cm}$ ,  $f \leq 1 \text{ GHz}$
- microonde:  $30 \text{ cm} \geq \lambda \geq 1 \text{ mm}$ ,  $1 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$
- raggi infrarossi:  $1 \text{ mm} \geq \lambda \geq 0,7 \mu\text{m}$ ,  $300 \text{ GHz} \leq f \leq 430.000 \text{ GHz}$
- luce visibile:  $0,7 \mu\text{m} \geq \lambda \geq 0,4 \mu\text{m}$ ,  $430.000 \text{ GHz} \leq f \leq 750.000 \text{ GHz}$
- raggi ultravioletti:  $0,4 \mu\text{m} \geq \lambda \geq 10 \text{ nm}$
- raggi X:  $10 \text{ nm} \geq \lambda \geq 1 \text{ pm}$
- raggi gamma:  $1 \text{ pm} \geq \lambda$

ricordando che:

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}, 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}, 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}, 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}.$$

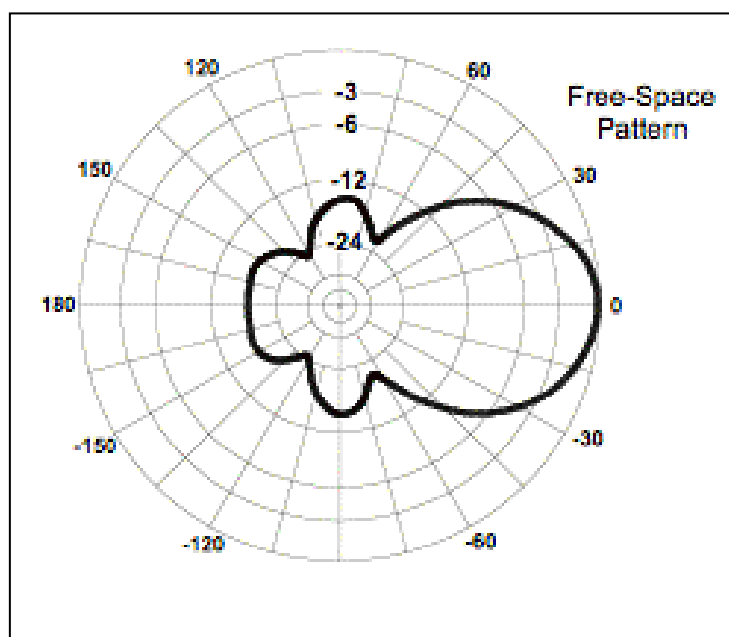
## Spettro radio

banda	frequenze	lunghezza d'onda
ELF	3 – 30 Hz	100 000 km – 10 000 km
SLF	30 – 300 Hz	10 000 km – 1000 km
ULF	300 – 3000 Hz	1000 km – 100 km
VLF	3 – 30 kHz	100 km – 10 km
LF	30 – 300 kHz	10 km – 1 km
MF	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m
HF	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
VHF	30 – 300 MHz	10 m – 1 m
UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm
SHF	3 – 30 GHz	10 cm – 1 cm
EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

## Le antenne

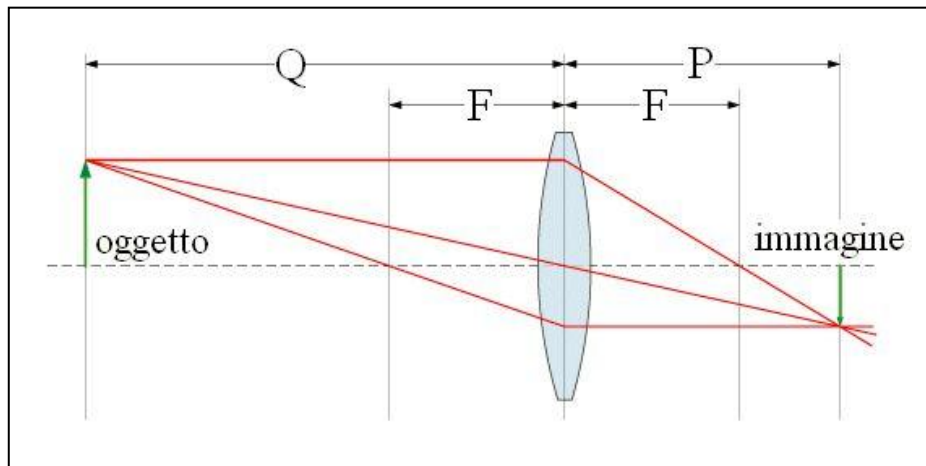
Un'antenna ricevente è un conduttore con due terminali (morsetti) tale che, quando viene investito da onde radio, tra i suoi terminali si genera una tensione variabile; dunque un'antenna ricevente converte le onde radio in un segnale elettrico.

Un'antenna direttiva presenta un guadagno in una certa direzione cioè riceve maggiormente in una certa direzione. Esempio di diagramma di radiazione:



## Differenza tra un'antenna e uno strumento ottico

Con gli strumenti ottici vengono costruite delle immagini secondo l'ottica geometrica: i raggi luminosi provenienti da ciascun punto dell'oggetto, dopo avere attraversato il sistema ottico, convergono in un punto che è il corrispondente punto dell'immagine.



Ma l'ottica geometrica si può applicare solo quando le lunghezze d'onda sono molto più piccole rispetto alle dimensioni degli ostacoli, dunque con le onde radio, in generale, non possiamo applicarla. Si potrebbe applicare invece l'ottica ondulatoria (esempi nella vita reale: a volte, a poca distanza, uno stesso segnale arriva forte o debolissimo: è come i massimi e i minimi di diffrazione in ottica). Le antenne e i ricevitori si limitano a indicare l'intensità del segnale ricevuto in una certa direzione: più che un'immagine vera e propria, si ottiene una mappa dei vari punti del cielo, corrispondenti alle varie direzioni, con i valori di intensità del segnale corrispondenti. L'equivalente ottico sarebbe un telescopio che, invece di farci vedere l'immagine dell'oggetto inquadrato, si limitasse a misurare quanta luce riceve in una certa direzione. In radioastronomia, l'intensità del segnale ricevuto in una direzione viene indicata riferendosi al livello di rumore che giunge al ricevitore: si parla di "temperatura di rumore" e, ad ogni radiosorgente del cielo presente in una certa direzione, si associa un valore per la cosiddetta "temperatura di brillantezza". Tali valori si ottengono confrontando le radiosorgenti con un corpo nero. La temperatura di brillantezza può dipendere anche dalla frequenza su cui si riceve perché una radiosorgente, la cui emissione si discosti da quella di un corpo nero, può emettere molto di più su certe frequenze (comportandosi, per queste frequenze, come un corpo nero più caldo) e meno su altre.

Con un radiometro = strumento in grado di misurare l'intensità della radiazione elettromagnetica, è possibile anche determinare la temperatura di una sorgente in base alla radiazione da essa ricevuta.

## Potere risolutivo in astronomia ottica e in radioastronomia

Il potere risolutivo di uno strumento ottico è la capacità di distinguere oggetti posti ad una piccola distanza angolare: più è piccola questa distanza angolare, più oggetti vicini sono distinguibili e più aumenta il potere risolutivo. Il potere risolutivo viene limitato da un fenomeno di ottica ondulatoria: la diffrazione da apertura circolare, per il quale l'immagine di una sorgente diventa un insieme di anelli chiaro-scuri concentrici (vedere "disco di Airy"), dato che gli strumenti ottici contengono diaframmi con piccole aperture circolari. Se  $D$  è il diametro di un diaframma e  $\lambda$  è la lunghezza d'onda, il potere risolutivo dipende da

$$D/\lambda$$

cioè

- se aumenta  $\lambda$ , il potere risolutivo peggiora (diminuisce)
- se aumenta  $D$ , il potere risolutivo migliora (aumenta)

In radioastronomia si applicano le stesse regole di ottica ondulatoria, però le lunghezze d'onda  $\lambda$  sono molto più grandi per cui il potere risolutivo sarà molto minore. Ad ogni antenna si può associare una cosiddetta "area di cattura" o "area efficace" che, per esempio, nel caso di antenne paraboliche dipende dal diametro  $D$  del paraboloide: anche ora il potere risolutivo dipende da  $D/\lambda$ .

Esempio: se abbiamo un telescopio ottico con un'apertura  $D$  di 15 cm (per la luce visibile prendiamo  $\lambda \approx 0,5 \mu\text{m}$ ), per avere lo stesso potere risolutivo con un radiotelescopio, sintonizzato sulla frequenza  $f = 10 \text{ GHz}$  ( $\lambda = 3 \text{ cm}$ ), si dovrebbe usare un'antenna parabolica con un diametro  $D \approx 9 \text{ km}$  (perché così il rapporto  $D/\lambda$  sarebbe lo stesso).

## Guadagno

Il guadagno di un'antenna direttiva è la capacità di amplificare i segnali in una certa direzione. Esso aumenta con l'area efficace. Dunque, per esempio, nel caso di antenne paraboliche aumenta all'aumentare del diametro  $D$  del paraboloide. Precisamente, si dimostra che il guadagno di un'antenna parabolica è proporzionale a

$$(D/\lambda)^2$$

## Conviene sempre usare antenne paraboliche?

In base a quanto detto poc'anzi, aumentare D (paraboloidi grandi) ha due vantaggi: aumenta sia il guadagno che il potere risolutivo.

Con grandi lunghezze d'onda, per far sì che il rapporto  $D/\lambda$  non dimisca troppo, occorrerebbe un diametro D molto grande, altrimenti il guadagno diminuirebbe, ma nella pratica diventa difficile realizzare paraboloidi troppo grandi, dunque usare un'antenna parabolica può non convenire più, pertanto, in tal caso, si preferisce utilizzare altri tipi di antenne: per esempio, con un picco di emissione di Giove a 20,1 MHz, a cui corrisponde  $\lambda \approx 15$  m, si può usare un array di dipoli (progetto Radio Jove).

## Gli arrays di antenne: aumentare il guadagno / tecniche di interferometria

Un array di antenne è un'insieme di antenne le quali vengano tutte collegate contemporaneamente a un ricevitore (o a un trasmettitore). Un primo vantaggio è che i segnali captati dalle diverse antenne giungono al ricevitore sommandosi tra loro e ciò può dare luogo ad un segnale più intenso, dunque si può ottenere un guadagno maggiore ma la somma di due segnali alla stessa frequenza è un segnale la cui intensità è massima solo se i due segnali sono in fase, altrimenti può addirittura accadere che due segnali si elidano.

Ci sono però dei casi in cui sommare segnali che non siano perfettamente in fase possa risultare vantaggioso: tecniche di interferometria. Talvolta vengono sommati anche segnali con lunghezze d'onda diverse e si parla di rilevamento eterodino, mentre se le lunghezze d'onda sono uguali si parla di rilevamento omodino.

Sia in astronomia ottica che in radioastronomia, il vantaggio delle tecniche di interferometria è che esse consentono di aumentare notevolmente il potere risolutivo: combinando tra loro le immagini date da specchi distanti tra loro o i segnali dati da antenne paraboliche distanti tra loro, si può ottenere un potere risolutivo equivalente a quello di uno specchio o di un'antenna parabolica avente diametro equivalente alla distanza tra gli strumenti combinati.

Ecco perché vengono impiegati array di radiotelescopi distanti anche migliaia di km. Per esempio, è molto famoso il Very Long Baseline Array (VLBA), costituito da dieci radiotelescopi collegati tra loro e sparsi sulla distanza di 5351 miglia dalle Hawaii all'isola caraibica di St. Croix.

## Il Deep Space Network

Per ricevere i segnali dallo spazio profondo si utilizza il Deep Space Network, costituito da tre complessi, ognuno dei quali consiste in un array di radiotelescopi con antenne paraboliche aventi diametro compreso tra 34 e 70 m. I tre complessi si trovano a Goldstone in California, a Madrid in Spagna e a Canberra in Australia. Il motivo è che, poiché queste località sono poste ad una distanza di circa 120° ciascuna sul globo terrestre, c'è sempre uno dei tre complessi esposto verso una radiosorgente astronomica.

## Frequenze su cui ricevono i radiotelescopi

Sono comprese tra circa 20 MHz e circa 300 GHz, sotto i 20 MHz può diventare difficile ricevere segnali dallo spazio perché la ionosfera riflette i segnali fino a circa 15 MHz.

## Alcuni campi d'indagine della radioastronomia

- studiare i segnali emessi da sorgenti galattiche ed extragalattiche nel campo delle microonde (frequenze di GHz), impiegando radiotelescopi ad antenne paraboliche
- monitorare il flusso meteorico mediante il fenomeno del meteor scattering: le scie ionizzate delle meteore diffondono i segnali con frequenze comprese tra 40 e 150 MHz; per esempio, possiamo monitorare gli echi del segnale del radar francese GRAVES a 143,050 MHz
- monitorare le emissioni radio di Giove e del Sole in banda HF: progetto Radio Jove della NASA con cui si impiega un radiotelescopio costituito da un array di due dipoli per i 20,1 MHz
- monitorare l'attività solare in base alle variazioni della propagazione ionosferica dei segnali in banda HF e ai disturbi ionosferici
- monitorare gli effetti dei brillamenti solari: tempeste geomagnetiche e SIDs (Sudden Ionospheric Disturbances) = improvvise variazioni di propagazione dei segnali in banda VLF
- ricezione dei segnali prodotti dai fenomeni naturali in VLF, ULF, SLF, ELF
- ricerca di eventuali segnali prodotti da civiltà extraterrestri intelligenti: progetto SETI

## Tipi di radiosorgenti cosmiche

Possono essere

- a spettro continuo, se emettono in un vasto intervallo di frequenze
- a spettro discreto, se emettono solo su alcune frequenze;

inoltre possono essere

- termiche, se la loro emissione è correlata alla temperatura a cui si trova la sorgente stessa e in tal caso l'emissione è paragonabile a quella del corpo nero, per esempio si possono ricevere microonde anche puntando un'antenna verso la Luna illuminata dal Sole
- non termiche, se la loro emissione è dovuta ad altri fenomeni, per esempio radiazione di ciclotrone, cioè dovuta al movimento di particelle cariche in un campo magnetico, come le emissioni decimetriche (ossia in UHF) di Giove

## Alcune importantissime radiosorgenti cosmiche

Tra le radiosorgenti più importanti possiamo ricordare:

### a) La radiazione cosmica di fondo

Consiste in una emissione a spettro continuo ricevibile in tutte le direzioni; rappresenta il residuo del Big Bang, la grande esplosione che ha avuto luogo circa 13,7 miliardi di anni fa da cui ha avuto origine l'Universo così come lo conosciamo oggi. Corrisponde alla radiazione di un corpo nero alla temperatura di 2,726 K ed ha un massimo in corrispondenza della frequenza  $f = 160,2$  GHz a cui corrisponde una lunghezza d'onda  $\lambda = 1,9$  mm.

### b) Riga di emissione a 21 cm dell'idrogeno interstellare

Un atomo di idrogeno neutro è costituito da un protone e da un elettrone. Esso può passare da uno stato ad energia più alta (che si ha quando il protone e l'elettrone hanno lo stesso senso di rotazione e si parla di "spin paralleli") ad uno stato ad energia più bassa (che si ha quando il protone e l'elettrone hanno senso di rotazione opposto e si parla di "spin antiparalleli"). La differenza di energia viene emessa dall'atomo sotto forma di radiazione elettromagnetica con  $f = 1420,4$  MHz ( $\lambda = 21,1$  cm). Questa transizione di energia avviene molto raramente, ma vista l'abbondanza dell'idrogeno interstellare, in campo radioastronomico diviene rilevante.



### c) I Quasar

Sono oggetti, generalmente, molto distanti dalla Terra, costituiti da nuclei galattici attivi molto luminosi e che sono anche potentissime radiosorgenti, da cui deriva il loro nome che è una contrazione di "QUASi-stellar radio source", cioè radiosorgenti quasi stellari

### d) Le Pulsar

Le pulsar, il cui nome deriva da "sorgenti radio pulsanti", sono stelle di neutroni che nelle prime fasi della loro formazione ruotano molto velocemente. La radiazione emessa si presenta sotto forma di impulsi ad intervalli di tempo molto regolari ed è dovuta all'azione combinata del loro intenso campo magnetico e dalla loro veloce rotazione.

### e) Il Sole

Il Sole emette in un vastissimo intervallo di frequenze. Sopra i 30 GHz, la sua emissione è del tutto confrontabile con l'emissione termica di un corpo nero alla temperatura di 5780 K, che è la sua temperatura superficiale. Sotto i 30 GHz, invece, l'emissione radio diventa più intensa rispetto a quella di un corpo nero a tale temperatura, segno che ci sono altri fenomeni di cui tenere conto, oltre che l'emissione termica. L'intensità delle emissioni del Sole sotto i 30 GHz varia molto a seconda dell'attività solare, cioè a seconda che ci si trovi nella condizione di "sole tranquillo" o di "sole attivo": in quest'ultimo caso si può rilevare un fortissimo incremento delle emissioni da qualche decina di MHz fino a oltre 10 GHz.

### f) Giove

E' caratterizzato da

- emissioni decimetriche, cioè in banda UHF, che sono dovute alla radiazione di ciclotrone generata da elettroni che si muovono in una regione toroidale che circonda la zona equatoriale di Giove
- emissioni decametriche, cioè in banda HF, con lunghezze d'onda comprese tra circa 0,6 MHz e circa 30 MHz e oltre, dovute alle correnti elettriche che circolano nelle fasce di radiazione che sono delle fasce contenute nella zona interna della magnetosfera di Giove. Con il progetto Radio Jove della NASA si studia il picco di emissione a 20,1 MHz.