

# Unione Astrofili Napoletani

## Corso base di radioastronomia

### Lezione 3

Indice:

Ricordiamo cosa sono le onde elettromagnetiche	p. 2
Ricordiamo lo spettro elettromagnetico	p. 2
Ricordiamo lo spettro radio	p. 3
Ricordiamo cosa sono le antenne	p. 3
Le antenne paraboliche	p. 4
Differenza tra un'antenna e uno strumento ottico	p. 9
Potere risolutivo in astronomia ottica e in radioastronomia	p. 10
Guadagno	p. 10
Conviene sempre usare antenne paraboliche?	p. 11
Gli arrays di antenne: aumentare il guadagno/tecniche di interferometria	p. 11
Il Deep Space Network	p. 12
Frequenze su cui ricevono i radiotelescopi	p. 12
Alcuni campi di indagine della radioastronomia	p. 12
Tipi di radiosorgenti cosmiche	p. 13
Alcune importantissime radiosorgenti cosmiche	p. 13
Alcune radiosorgenti a microonde ricevibili anche con radiotelescopi amatoriali ad antenna parabolica	p. 15

# Ricordiamo cosa sono le onde elettromagnetiche.

Sono oscillazioni del campo elettrico e del campo magnetico.

Le onde elettromagnetiche sono caratterizzate da due grandezze fisiche tra loro correlate:

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

Per esempio, sia la luce che le onde radio sono onde elettromagnetiche, ma di diverse frequenza e lunghezza d'onda. Cosa sono queste due grandezze?

Se un'onda elettromagnetica si propaga e consideriamo un istante fisso, il campo elettrico e il campo magnetico variano ciclicamente nello spazio, cioè assumono valori diversi in punti diversi. La distanza tra due punti tra i quali si ha un ciclo completo (per esempio la distanza tra due creste dell'onda) è detta "lunghezza d'onda", per la quale, come unità di misura si utilizza il metro o i suoi multipli o sottomultipli. D'altra parte, se un'onda elettromagnetica si propaga e consideriamo un punto fisso, in tale punto il campo elettrico e il campo magnetico variano ciclicamente nel tempo cioè assumono valori diversi in diversi istanti. La durata di un ciclo è detta "periodo". Il numero di periodi contenuti nell'unità di tempo ossia il numero di cicli che si verificano in una unità di tempo è detto "frequenza".

La frequenza si misura in hertz, abbreviato Hz = cicli al secondo, ossia 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  $c$  = velocità di propagazione = 300.000 km/s nel vuoto

Da questa formula, se ne deduce un'altra di uso pratico per calcolare la lunghezza d'onda nel vuoto (o nell'aria) a partire dalla frequenza:

$$\lambda \text{ (in metri)} = 300 / f \text{ (in MHz)}$$

Per esempio, alla frequenza di 150 MHz corrisponde la lunghezza d'onda di 2 metri.

# Ricordiamo lo 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:

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

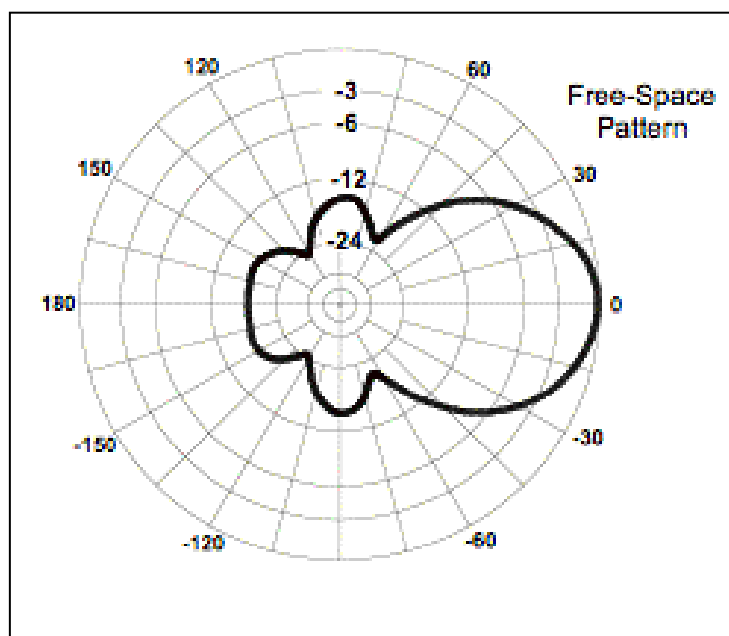
## Ricordiamo lo spettro radio

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

## Ricordiamo cosa sono le antenne

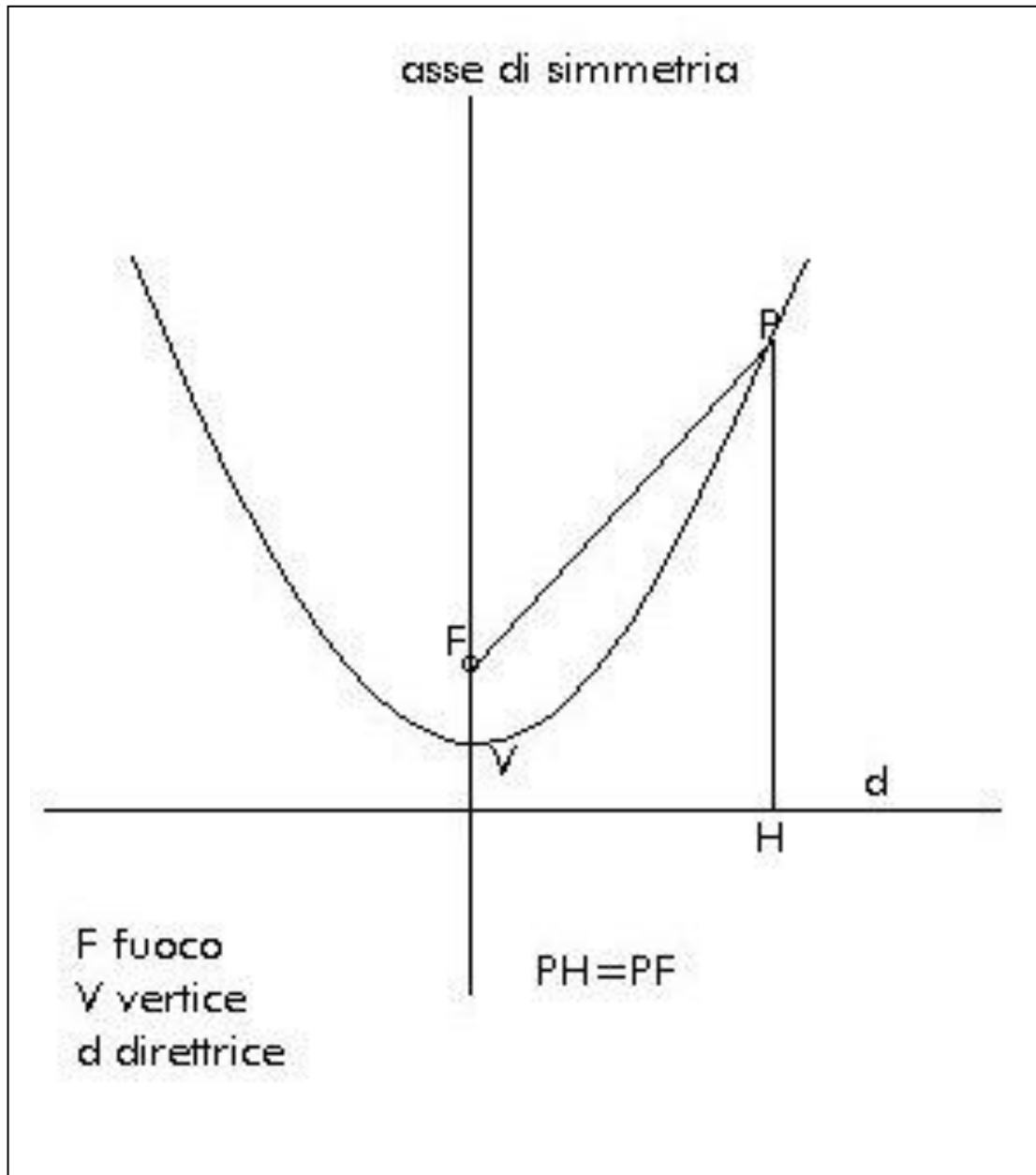
Un'antenna ricevente è un conduttore con due terminali (morsetti) tale che, quando viene investito da onde radio, tra i suoi terminali si genera una tensione variabile; dunque un'antenna ricevente converte le onde radio in un segnale elettrico.

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



## Le antenne paraboliche

La parabola è una curva ottenuta considerando, in un piano, il luogo geometrico dei punti aventi uguale distanza da un punto detto “fuoco” e da una retta detta “direttrice”.



Se si ruota una parabola intorno al suo asse di simmetria, si ottiene una particolare superficie chiamata “paraboloide”.

In ottica, gli specchi parabolici, cioè gli specchi che hanno la forma di un paraboloide, hanno un'importantissima proprietà:

uno specchio parabolico riflette tutti i raggi luminosi paralleli all'asse di simmetria nel fuoco.

Esempio: specchi ustori di Archimede - concentrando i raggi del Sole nel fuoco provocavano l'incendio delle navi nemiche.

Si può fare la stessa cosa con le onde radio?

Sì, ma con una importante precisazione.

Come vedremo tra poco, con le onde radio, in generale, non si possono applicare le regole dell'ottica geometrica. Allora, un riflettore parabolico (si tratta di una superficie metallica a forma di parabolide; non si parla di specchio) concentra le onde radio riflesse non in un punto preciso ma in una regione di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda. Inoltre, affinché ciò possa avvenire, occorre che il diametro del paraboloide sia molto maggiore rispetto alla lunghezza d'onda.

Che un diametro maggiore dia dei vantaggi è anche intuitivo, perché è ovvio che una superficie riflettente più grande concentri più energia. Infatti, gli strumenti ottici che impiegano specchi parabolici più grandi danno luogo a immagini più luminose. Analogamente, come vedremo, il guadagno di un'antenna parabolica aumenta se il riflettore è più grande.

Un'antenna parabolica è costituita da:

- riflettore parabolico
- illuminatore

L'illuminatore è un'antenna, come per esempio un dipolo o una Yagi, posta presso la regione in cui il riflettore parabolico concentra le onde radio.

Accade che:

- in ricezione, il riflettore parabolico concentra le onde radio in arrivo, provenienti dalla direzione parallela all'asse di simmetria, sull'illuminatore
- in trasmissione, le onde radio emesse dall'illuminatore vengono riflesse dal riflettore parabolico dando luogo a onde radio che si propagano parallelamente all'asse di simmetria

Le antenne paraboliche vengono impiegate con le microonde, le quali corrispondono a frequenze abbastanza alte per i ricevitori presenti in commercio. Per tale motivo, le antenne paraboliche utilizzate in ricezione sono spesso dotate di un LNB:

LNB = Low Noise Block converter = convertitore di frequenza a basso rumore: è il primo componente che il segnale incontra dopo essere stato ricevuto dall'illuminatore; serve per convertire il segnale in un nuovo segnale a frequenza più bassa.

Un altro motivo per cui si impiegano gli LNB è che un segnale convertito a frequenza minore viaggia nei cavi coassiali con un'attenuazione minore.

Un'altra cosa importante da dire è che, in commercio, esistono più tipi di riflettori parabolici. Eccone alcuni:

Prime Focus: ha la normale forma del paraboloide, tagliato con un piano perpendicolare all'asse di simmetria. E' il più semplice di tutti ma può avere uno svantaggio: la presenza dell'illuminatore e dell'LNB costituisce un ostacolo fisico che nasconde parte del paraboloide alle onde radio in arrivo, per cui si riduce la quantità di energia raccolta dal paraboloide stesso.



Offset: ha la forma di un paraboloide, ma tagliato con un piano non perpendicolare all'asse di simmetria. Di conseguenza, il fuoco del paraboloide, in prossimità del quale si trovano l'illuminatore e l'LNB, non coincide con il centro del riflettore. In tal modo, il segnale in arrivo colpisce tutta la superficie del riflettore che non risulta coperta.



L'angolo di cui il fuoco risulta spostato rispetto al centro del riflettore è detto "angolo di offset". Apparentemente, se paragonata ad un'antenna Prime Focus, un'antenna Offset non sembra puntata verso la sorgente da cui proviene il segnale ricevuto, ma sembra spostata di un angolo uguale all'angolo di offset. Con i satelliti artificiali geostazionari, per esempio, il riflettore viene disposto più verticalmente, rispetto al caso della Prime Focus. Questo ha l'ulteriore vantaggio di evitare accumuli di neve.

Antenna gregoriana: presenta due paraboloidi rivolti uno verso l'altro.



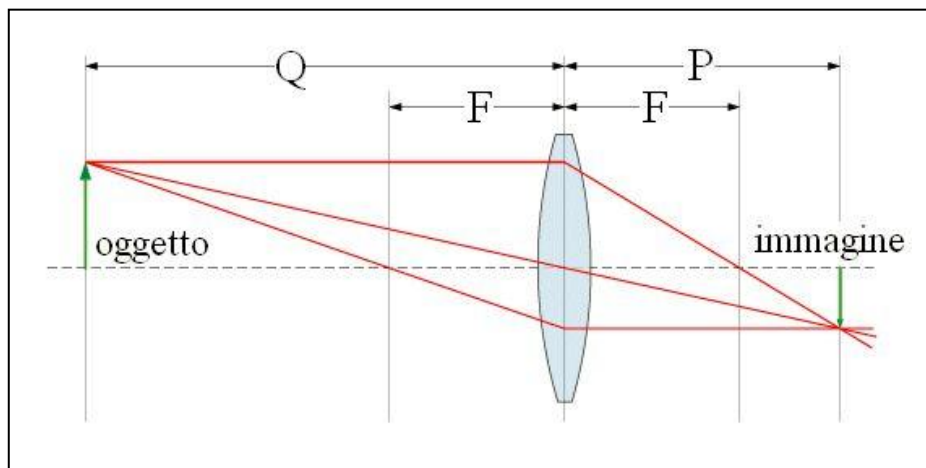
Antenna Cassegrain: presenta due paraboloidi rivolti nello stesso verso.





## 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-scuro 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); solitamente si impiegano radiotelescopi ad antenne paraboliche
- spettroscopia a microonde, che consiste nell'individuare le molecole presenti presso una radiosorgente in base alle frequenze dei segnali ricevuti
- 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.

## Alcune radiosorgenti a microonde ricevibili anche con radiotelescopi amatoriali ad antenna parabolica

Un elenco di radiosorgenti a microonde ricevibili anche con antenne paraboliche di modeste dimensioni, in ordine decrescente di facilità di ricezione, è il seguente:

- Il Sole
- Cassiopea - a
- Cygnus - a
- Centaurus - a
- Il centro della Via Lattea
- Sagittarius - a (regione vicina)
- Taurus - a
- H,II
- Virgo - a
- Quasar 172
- 4C 503
- Supernova Remnant
- Fronax - a
- Pictor - a
- Galassia 3C 353
- 3C 218
- Galassia 3C 123
- 3C 38
- 3C 273
- 3C 147.1
- 3C 45
- 4C 23,57
- NRAO 5970
- 3C 295