

Didattica con un radiotelescopio: i vantaggi dell'interferometria

di Stefania Varano e Alessandra Zanichelli

Rapporto interno
IRA 452/11

Sommario

Introduzione	2
L'interferenza nei laboratori scolastici	2
Il laboratorio di interferometria	4
Principi generali sul funzionamento dell'interferometro didattico	4
Obiettivi	5
Prerequisiti e target	5
Descrizione dell'esperimento	5
Procedimento	7
Fase 1. RUMORE	7
<i>Valutazione del rumore</i>	8
<i>Osservazione del Sole</i>	9
<i>Valutazione dell'intensità della sorgente e confronto con il rumore</i>	10
Fase 2: SENSIBILITÀ	10
<i>Misura dell'energia ricevuta dalla sorgente</i>	10
<i>Valutazione del rapporto segnale/rumore</i>	11
Fase 3: CORRELAZIONE	12
<i>Potere risolvente e distanza tra le antenne</i>	13
Conclusioni	14
Sintesi sul valore didattico dell'esperienza	14
Ringraziamenti	14

Introduzione

In questo documento presentiamo un'attività didattica pensata e realizzata espressamente per il Centro Visite "Marcello Ceccarelli" e per la didattica della radioastronomia: il *laboratorio di interferometria*, rivolto agli studenti degli ultimi anni delle scuole superiori (e prevalentemente agli indirizzi scientifico/tecnologici).

L'interferometria è una tecnica di osservazione e indagine fondamentale per la radioastronomia. Per questo naturalmente si pone la questione, in ambito di didattica e divulgazione di questa scienza, di presentare e far comprendere l'interferometria come *strumento* di acquisizione di dati astronomici che saranno in seguito oggetto della comunicazione agli studenti e al pubblico.

L'interferometria è però anche un fine conoscitivo, oltre che un mezzo di conoscenza.

Infatti, l'interferenza tra onde elettromagnetiche ha storicamente permesso di individuare la duplice "personalità" delle onde elettromagnetiche, essendo essa stessa una manifestazione della loro natura ondulatoria, e quindi un'espressione della loro essenza fisica.

L'interferenza nei laboratori scolastici

La comprensione dell'interferenza tra onde è di difficile approccio, nonostante la disponibilità di numerosi agganci con la nostra esperienza quotidiana: assistiamo facilmente a fenomeni di interferenza di onde meccaniche, come ad esempio quelle che si propagano nell'acqua.

In ambito didattico, il tema dell'interferenza tra onde viene introdotto dal punto di vista solo teorico, oppure, quando ve ne è la disponibilità, attraverso l'utilizzo di un *ondoscopio a vaschetta*, un'apparecchiatura sperimentale disponibile in alcuni laboratori scolastici, che riproduce proprio il fenomeno delle onde di un lago, con cui siamo più familiari. L'osservazione permette di intuire e valutare qualitativamente che due onde meccaniche identiche, durante la loro propagazione si "rafforzano" o si "indeboliscono" vicendevolmente.

Un comune ondoscopio a vaschetta è costituito da:

- una vaschetta, con fondo trasparente e sollevata rispetto al piano di appoggio attraverso un sostegno;

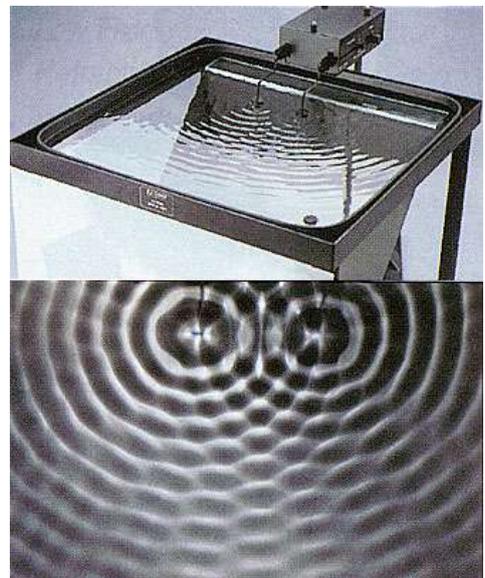


Figura 1 Ondoscopio a vaschetta e visualizzazione dell'interferenza tra onde in acqua.

- due punte collegate a un motorino che permette di muoverle all'unisono, cioè con oscillazione sincronizzata (in fase) e di ampiezza uguale.

Il fondo trasparente permette di vedere, se la superficie dell'acqua è correttamente illuminata, la figura di interferenza tra le onde dell'acqua provocate dalle due puntine che si muovono.

La figura che si genera, nei punti di interazione tra massimi e minimi è del tutto confrontabile con la schematizzazione dell'esperimento effettuato da Thomas Young nel 1801, in cui lo scienziato, osservò il fenomeno dell'interferenza tra due fasci di luce ottenuti illuminando due fenditure con una stessa sorgente, a conferma dell'ipotesi della natura ondulatoria della luce.

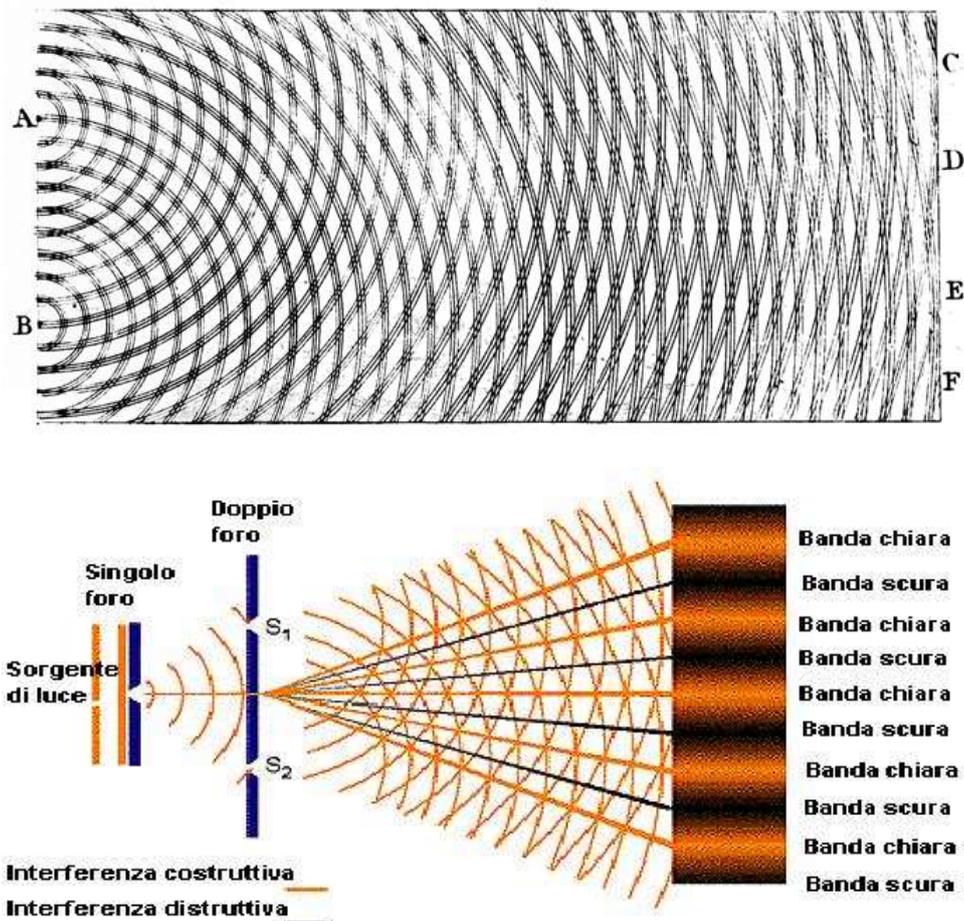


Figura 2 Riproduzione (sopra) e rappresentazione schematica (sotto) del fenomeno di interferenza per diffrazione da due fenditure, realizzato da Thomas Young nel 1801

Il fenomeno dell'interferenza tra onde elettromagnetiche rimane però ancora troppo astratto per poter essere ricondotto a una conoscenza sperimentale, proprio perché gli apparati di cui comunemente si fa uso nelle scuole, come l'ondoscopio, non sempre permettono misurazioni e indagini quantitative, ma quasi esclusivamente vengono adoperati per una presentazione qualitativa del fenomeno.

Il laboratorio di interferometria

L'esperienza di laboratorio qui introdotta permette di utilizzare l'osservazione del fenomeno dell'interferenza tra onde elettromagnetiche come strumento per la conoscenza delle caratteristiche delle onde incidenti sulle due fenditure, rappresentate in questo caso dalle due antenne a dipoli, di tipo Yagi (o Yagi-Uda). Tralascieremo nel seguito di approfondire i dettagli tecnici dell'apparato sperimentale utilizzato e del sistema di acquisizione dati: per queste informazioni, rimandiamo ai rapporti interni IRA [429/09](#), per il funzionamento generale dell'interferometro, e IRA [437/10](#) per il dispositivo "On The Fly" (OTF) che permette di ridurre di oltre un fattore dieci il tempo necessario per acquisire i dati di intensità del transito della sorgente celeste.

Si noti infine che questo documento non si propone di illustrare l'interferometria radio dal punto di vista tecnico e scientifico, ma piuttosto di descrivere un percorso per la conoscenza di questi temi, accessibile anche da parte di un pubblico non esperto. Per questo, anche la trattazione dell'argomento e il linguaggio saranno tendenzialmente divulgativi.

Ci concentreremo quindi nel seguito sulla descrizione del laboratorio, delle sue potenzialità e degli spunti didattici offerti.

Principi generali sul funzionamento dell'interferometro didattico

In figura è rappresentato lo schema di funzionamento di un interferometro radio

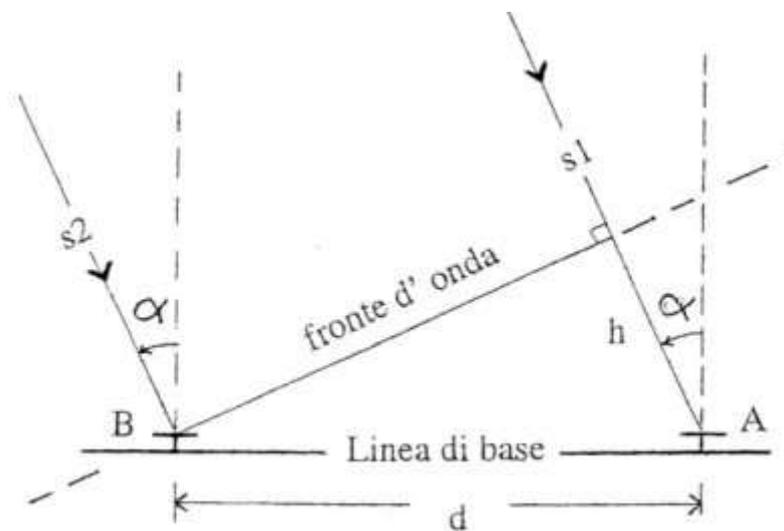


Figura 5 Le basi dell'interferometria
Cortesia di G. Tomassetti

Le due antenne A e B spaziate della distanza d (linea di base), ricevono i segnali s_1 e s_2 provenienti dalla stessa radiosorgente. A seconda della geometria locale e delle coordinate della sorgente, si può avere la situazione in cui il segnale s_1 deve percorrere un tratto aggiuntivo h per raggiungere l'antenna A, rispetto al cammino del segnale s_2 . Questo percorso, a causa della

rotazione della Terra, varia con continuità nel tempo. Insomma, s_1 arriva al suo ricevitore un po' in ritardo rispetto a s_2 , quindi i due segnali arrivano alle rispettive antenne con fase non solo non concorde ma addirittura variabile nel tempo. Compito dell'interferometro è di sommarli vettorialmente o farne un prodotto complesso (tenendo quindi conto anche della fase) per ottenere un unico livello che risulta caratterizzato da massimi e minimi in successione, detti *frange di interferenza*.

Obiettivi

Questo laboratorio si propone in generale di avvicinare gli studenti all'osservazione e sperimentazione scientifica. In particolare ci si propone di offrire agli studenti uno strumento didattico che permetta loro di:

- 1) comprendere come funziona un'osservazione radioastronomica;
- 2) fare un'analisi qualitativa del segnale ricevuto: rumore, interferenze, ecc;
- 3) comprendere il concetto di correlazione del segnale radioastronomico;
- 4) calcolare la sensibilità dello strumento adoperato, con riferimento a dati astronomici d'archivio.

Prerequisiti e target

Il laboratorio si rivolge a studenti delle scuole superiori, proponendosi come un'attività di approfondimento, in risposta a suggerimenti e sollecitazioni ricevuti in questa direzione dai docenti delle scuole che da anni visitano il Centro.

I prerequisiti richiesti sono piuttosto accessibili:

- conoscenza del grafico di una funzione (trigonometrica);
- competenze di misura diretta di quantità sul grafico di una funzione;
- competenze nell'utilizzo di formule (e loro inversione) e nella conversione tra unità di misura;
- conoscenza del concetto di "transito" di una sorgente celeste per effetto della rotazione terrestre.

Si assume e si rende noto agli insegnanti che, per un migliore inserimento in una più ampia trattazione scolastica, gli utenti ideali per questo percorso di laboratorio sono gli studenti degli ultimi anni dei licei scientifici, data la loro familiarità con le onde (anche non necessariamente con quelle elettromagnetiche) e i loro comportamenti.

Ciononostante, da quando il laboratorio è stato presentato a tutte le scuole, abbiamo riscontrato un largo gradimento e interesse anche da altri tipi e livelli scolastici.

Descrizione dell'esperimento

L'esercitazione si svolge nella sala mostra del Centro Visite "M. Ceccarelli", da una postazione che permette di vedere, durante tutte le fasi dell'osservazione,

la posizione e il movimento delle antenne. Il laboratorio prevede un'osservazione reale del Sole, sulla quale si fanno alcune considerazioni preliminari a partire dalle caratteristiche dei dati (fondo cielo, rumore, segnale della sorgente) per poi effettuare misurazioni quantitative (ad esempio la calibrazione del sistema e la misurazione della densità di flusso del Sole). L'attività di laboratorio è sempre condotta da un ricercatore dell'INAF – Istituto di Radioastronomia, e questo rende l'esperienza ancor più riconoscibile come una reale attività osservativa, anche se non eseguita con strumentazione professionale.

Prima di iniziare l'esperimento, viene introdotto il principio base che permette la visualizzazione di un'onda elettromagnetica ricevuta dalle antenne dell'interferometro: le antenne ricevono un'onda elettromagnetica, il ricevitore la rivela e la trasforma in un segnale elettrico misurabile (nel nostro caso, l'unità di misura del segnale visualizzato è il volt). Questo principio è lo stesso per tutti i radiotelescopi (e per molti strumenti costruiti per rivelare onde elettromagnetiche non visibili).

Viene poi mostrata l'interfaccia su cui saranno visualizzati le onde radio ricevute dall'interferometro e trasformate in corrente elettrica.

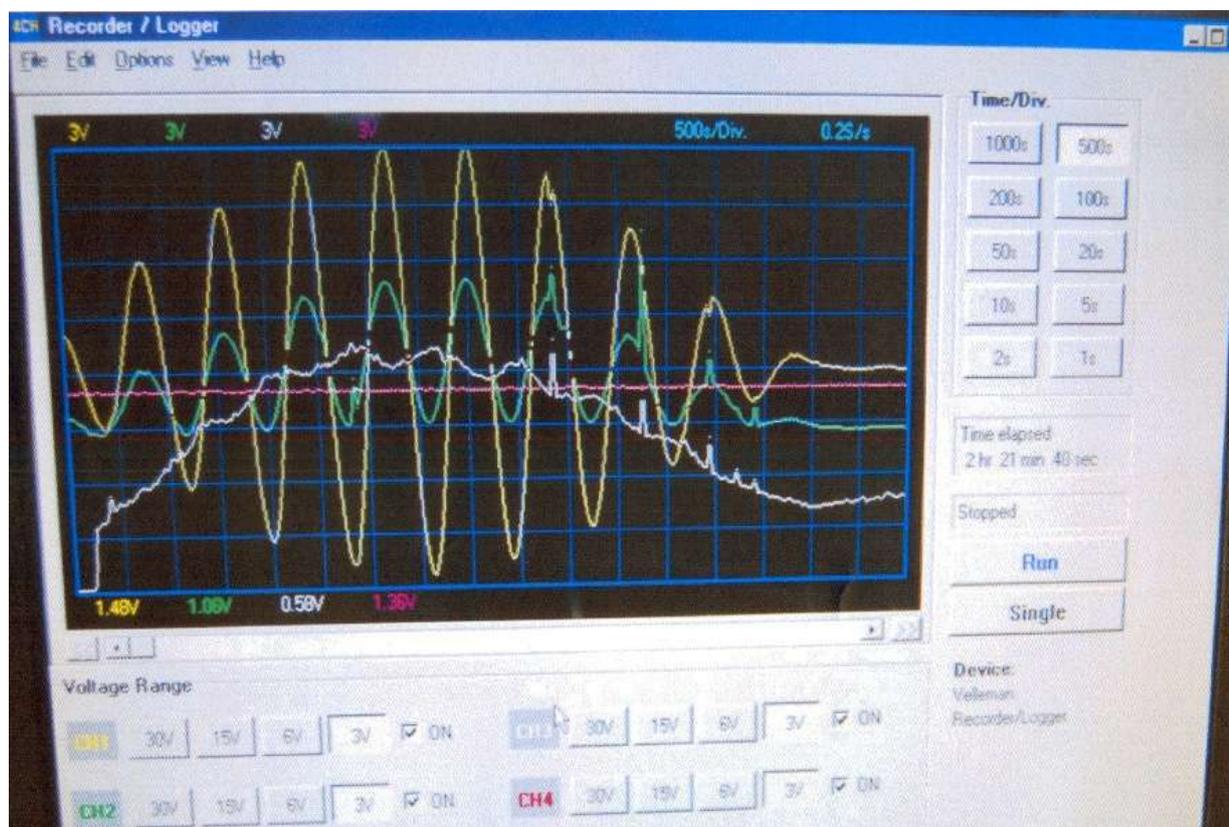


Figura 6 "Frang" di interferenza prodotte dall'interferometro didattico del Centro Visite "M.Ceccarelli" dei radiotelescopi di Medicina.

Il grafico in uscita riporta in ascissa il tempo di acquisizione (ogni divisione corrisponde a un tempo che può essere impostato nei parametri osservativi: qui useremo sempre 10 secondi per divisione). Il software di interfaccia permette di visualizzare tutti e quattro i canali in uscita oppure di selezionarne solo alcuni. I quattro canali rappresentano, rispettivamente:

- singola antenna (*total power*, traccia bianca);
- interferometro somma (traccia **verde**);
- interferometro prodotto (traccia **gialla**);
- pila di riferimento (traccia **viola**), per il voltaggio.

Questi dati, per ogni osservazione, sono comunque tutti acquisiti dal sistema e, salvando il file di dati prodotto con una singola osservazione, si ha sempre la possibilità di visualizzare sull'interfaccia alcuni o tutti i canali disponibili.

La scelta della sorgente da osservare (nel nostro caso il Sole) è vincolata dalla limitata sensibilità dello strumento utilizzato, espressamente costruito per osservazioni amatoriali e a scopo didattico.

Agli studenti, prima dell'inizio del laboratorio, sono fornite alcune dispense in cui è descritta la procedura dell'esperimento.

Le formule adoperate non vengono mai approfondite nel corso dell'attività di laboratorio, a meno di specifiche richieste e di una preparazione particolarmente mirata degli studenti. In una fase successiva, elaboreremo, con la collaborazione degli insegnanti, un percorso didattico, *pre* e *post*-laboratorio, che permetta una trattazione ancora più dettagliata dei dati osservati.

Procedimento

Fase 1. RUMORE

In questa fase viene introdotto il concetto di rumore, come valore di intensità minima, una sorta di base su cui "appoggerà" il grafico del segnale prodotto da una sorgente celeste. Si inizia quindi con un'osservazione effettuata con una sola delle due antenne dell'interferometro didattico (questo tipo di osservazione è detta *single dish*, ad antenna singola).

Si punta una regione di cielo senza sorgenti e si esegue una osservazione "di transito", a interferometro fermo: in questo tipo di osservazioni è il cielo che transita sopra l'interferometro per effetto della rotazione terrestre. In questa fase viene introdotto il ruolo e l'importanza dei grandi interferometri professionali, come la Croce del Nord.

La traccia che sarà visualizzata sull'interfaccia video dell'interferometro è quella bianca (*total power*). L'output è in volt, l'unità di misura dell'asse delle ordinate nel grafico visibile sull'interfaccia del sistema di acquisizione.

Il grafico ottenuto da questa prima osservazione viene stampato e su questo si fanno alcune valutazioni ancora piuttosto qualitative, come ad esempio l'entità del segnale misurato, e il fatto che, nonostante questo non corrisponda ad alcuna sorgente osservata, si posiziona comunque sopra lo zero.

Valutazione del rumore

Il rumore osservato è costituito in parte da rumore strumentale (segnali elettrici spuri interni al sistema) e in parte dall'emissione del cielo (anche se privo di sorgenti) che si somma a quella dell'atmosfera. Tutte queste emissioni, variabili nel tempo, si manifestano come fluttuazioni nel grafico di acquisizione (figura 7). Questi "falsi" segnali possono mascherare le emissioni dovute alla presenza delle sorgenti celesti che si vogliono osservare. Per questo, e poiché le sorgenti celesti hanno, principalmente per via della loro distanza, luminosità molto basse, il rumore deve essere ridotto il più possibile, per permettere l'individuazione chiara del segnale.

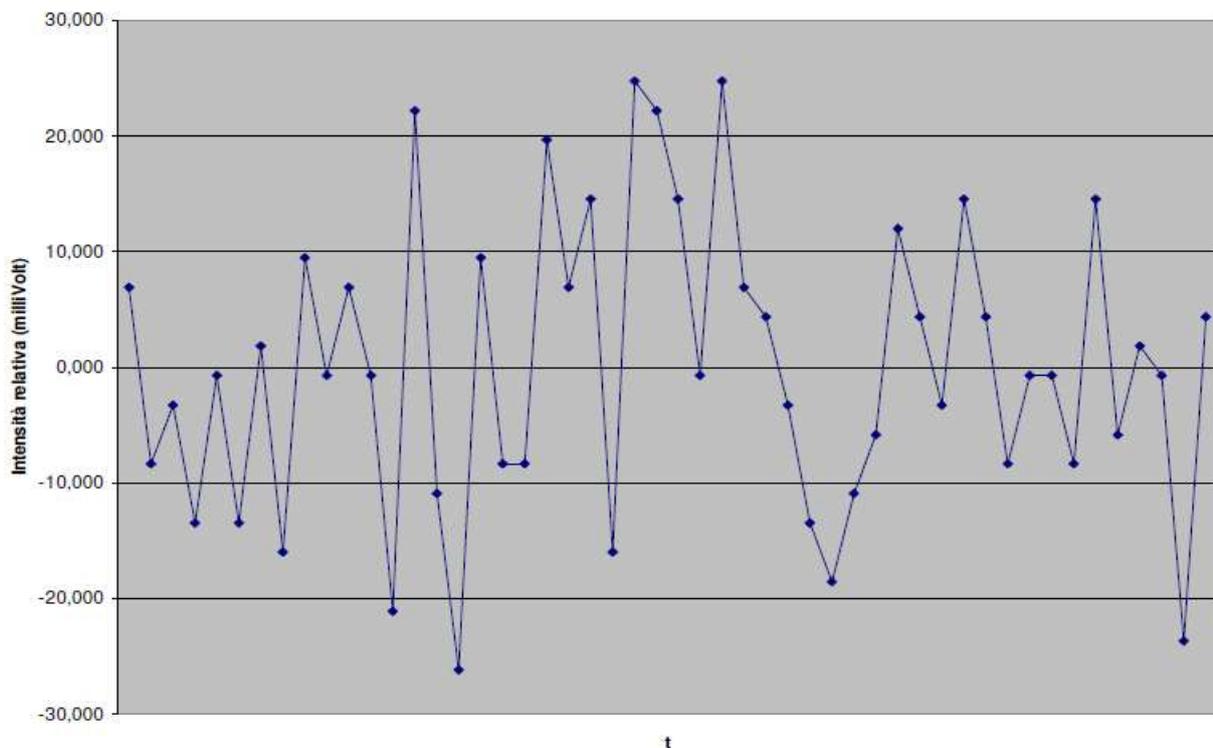


Figura 7 Ogni segnale la cui intensità è qualitativamente confrontabile con quella delle fluttuazioni, non è chiaramente riconoscibile.

Una valutazione approssimata ma attendibile del rumore associato a una certa osservazione in una regione priva di sorgenti, si ottiene con la seguente formula:

$$N \sim \frac{\text{intensità massima} - \text{intensità minima}}{6}$$

(nella formula e nel seguito, il rumore è indicato con il simbolo N , per *noise*).

Con questo calcolo, si sta assumendo che il massimo scarto di ogni valore dal valore medio della misurazione sia al massimo 3 volte lo scarto quadratico medio.

In questo caso, le procedure possibili sono due:

- a) misurare con il righello direttamente sull'osservazione appena effettuata, dalla scala in ordinate si ottiene il fattore di conversione da centimetri a volt.
- b) ricavare intensità massima e minima dal file testuale (con estensione ".txt") che è stato appena salvato, in cui sono riportati, in forma numerica, tutti i dati dell'osservazione appena fatta. In questo caso bisogna tenere presente che i valori sono indicati in millivolt.

La procedura scelta è la b), da una parte perché la misura delle fluttuazioni reali dal grafico è molto difficoltosa e può risultare poco precisa in quanto le variazioni del segnale sono piccolissime rispetto alla scala su cui sono riportate, ma soprattutto per permettere agli studenti di acquisire maggiore familiarità con il file numerico in cui sono registrati i dati dell'osservazione. Alcuni studenti, a turno, sono quindi invitati ad analizzare personalmente il file numerico: in questa fase si fa loro notare quanto il grado di informazione e di dettaglio che è possibile salvare con un computer sia molto più approfondito della valutazione qualitativa che si può fare partendo esclusivamente dal grafico.

Trovati il massimo e il minimo dei dati, si può applicare la formula:

$$N_{\text{millivolt}} = \frac{\text{max}-\text{min}}{6}, \quad \text{ricordando che} \quad N_{\text{volt}} = \frac{N_{\text{millivolt}}}{1000}$$

(*max* e *min* sono i valori massimi e minimi individuati sul grafico o in tabella).

Osservazione del Sole

Si passa in seguito all'osservazione di una sorgente celeste (il Sole).

Per prima cosa, dobbiamo ricavare le coordinate del Sole al tempo attuale e lo facciamo con un software per il calcolo delle effemeridi (qui abbiamo usato EME, un programma *open-source* che fornisce le coordinate di Luna e Sole, in funzione del tempo locale -LT- o universale - UT).

Viene evidenziata la necessità di database in cui siano riportate le coordinate degli oggetti celesti. In particolare questo vale per le osservazioni in cui è impossibile il puntamento "manuale" perché l'oggetto non emette luce visibile (ma magari solo onde radio) oppure, come nel caso in esame, per osservazioni diurne in cui solo il Sole e a volte la Luna sono facilmente individuabili "a occhio" in cielo.

Registriamo i valori delle coordinate del Sole ed effettuiamo il puntamento.

Stavolta eseguiamo una "scansione", sfruttando la procedura "On The Fly" (OTF), e cioè muovendo le antenne con un moto che riproduce la rotazione terrestre, ma a velocità maggiore. In questo modo, le antenne "spazzano" la

regione in cui si trova il Sole in circa 5 minuti. Aspettare il transito naturale, richiederebbe ore, e cioè il tempo necessario perché la nostra stella percorra 16 gradi in cielo, che sono la "visuale" delle nostre antenne.

Viene così introdotto anche il concetto di *beam*, come campo di vista dell'antenna. L'OTF è quindi di una procedura utilissima che necessita però di strumentazione complessa e non facilmente realizzabile in ambito amatoriale, dotata di movimentazione e in grado di compensare/tollerare distorsioni dovute alla gravità.

A questo proposito si riportano all'attenzione i moderni strumenti per l'osservazione radioastronomica, come la parabola da 32 metri di Medicina, completamente orientabile.

Valutazione dell'intensità della sorgente e confronto con il rumore

Si stampa il tracciato del Sole (sempre la traccia bianca che rappresenta l'osservazione con una singola antenna) e si fa una stima, attraverso il grafico, dell'intensità del segnale del Sole in volt. Il segnale S può essere stimato come l'intensità massima misurata al di sopra del livello medio del fondo cielo (il "pedistallo" su cui si alza il grafico che rappresenta la sorgente):

$$S = \text{picco del segnale} = \text{picco massimo} - \text{fondo cielo}$$

Fase 2: SENSIBILITÀ

L'obiettivo della seconda parte del laboratorio è introdurre il concetto di "calibrazione", in cui si passa da una misura che dipende dal sistema osservativo a una misura assoluta, confrontabile con quelle di altri sistemi di acquisizione. Inoltre si introduce qui il concetto di rapporto Segnale/Rumore (*Signal to Noise ratio, S/N*)

Misura dell'energia ricevuta dalla sorgente

L'energia ricevuta per unità di tempo, di area e di frequenza da una sorgente è chiamata *densità di flusso* e ha come unità di misura il jansky (Jy):

$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$$

Per poter effettuare il confronto tra flusso del Sole tabulato e quello osservato, dobbiamo conoscere la frequenza di osservazione dell'interferometro, che è 1296 MHz, corrispondente alla lunghezza d'onda $\lambda = 23$ cm. A questa frequenza, attualmente il Sole ha una densità di flusso di circa 7.5×10^5 Jy.

Per confronto, un trasmettitore da 100 W posto sulla Luna comporterebbe un segnale pari a circa 10^3 Jy rivelato dall'interferometro.

Dalla prima osservazione del Sole fatta con una singola antenna al termine della Fase 1 ricaviamo il segnale in volt ricevuto dal Sole. Confrontandolo con il valore noto del flusso del Sole, possiamo calcolare il fattore di conversione da

volt a jansky. Questo valore ci permette di ricavare il rumore espresso in Jy (convertendo il valore in volt calcolato nella prima parte della Fase 1).

Il rumore in Jy ci dà una misura assoluta della sensibilità in unità che non dipendono più dalla scala di voltaggio del sistema, ma dall'energia ricevuta, e sono quindi direttamente confrontabili con il flusso emesso da sorgenti celesti e non.

Considerando i flussi di alcune tra le radiosorgenti più conosciute e brillanti del cielo alla frequenza di osservazione dell'interferometro (tabella 1), gli studenti possono valutare qualitativamente dove si collocherebbero queste radiosorgenti sul grafico della presente osservazione, in termini di flusso emesso rispetto a quello del Sole. Possono inoltre valutare se queste sorgenti, dato il livello di rumore misurato, sarebbero tutte riconoscibili nelle stesse condizioni osservative.

Sorgente	Densità di Flusso (a 1296MHz)
<i>Sole</i>	7.5×10^5 Jy
<i>Cygnus A</i>	1598 Jy
<i>Cassiopeia A</i>	1634.9 Jy
<i>Taurus A</i>	930 Jy
<i>3C 286</i>	14.7 Jy

Tabella 1 Le radiosorgenti più brillanti alla frequenza operativa dell'interferometro didattico.

La sorgente 3C286 (che dal confronto qui risulta debolissima) è il calibratore di flusso più comunemente usato nelle osservazioni radioastronomiche.

Valutazione del rapporto segnale/rumore

Le sorgenti si rivelano tanto meglio quando più il loro segnale si "staglia" rispetto al livello del fondo cielo: questo "stagliarsi" lo esprimiamo in unità di rumore del fondo cielo.

Per convenzione, si considera che un segnale sia rivelato con attendibilità se il rapporto S/N è maggiore o uguale a 5:

$$\frac{S}{N} \geq 5$$

A questo punto della trattazione, nel caso in cui gli studenti abbiano conoscenze e competenze anche in tema di distribuzioni di probabilità, si può osservare che, se la distribuzione del rumore fosse una gaussiana, basterebbe assumere uno scarto pari a 3σ e questo equivarrebbe a escludere intensità che hanno solo lo 0.3% di essere rivelate per caso, quindi devono essere ragionevolmente considerate un segnale rivelato dal sistema. Nella realtà però raramente il rumore ha una distribuzione gaussiana, quindi si preferisce essere conservativi e usare 5σ anziché 3σ .

Utilizzando i valori di segnale e rumore calcolati, possiamo quindi determinare il rapporto segnale/rumore (S/N), approssimabile con la seguente formula:

$$S/N = \frac{\text{picco del segnale}}{\text{rumore}}$$

Fase 3: CORRELAZIONE

A questo punto, si possono infine individuare e analizzare i vantaggi e gli svantaggi dell'osservazione interferometrica rispetto a un'osservazione con singola antenna.

Viene introdotto qui il concetto di *potere risolvente*, mostrando l'inequivocabile miglioramento che l'interferometria comporta, in merito a questa caratteristica osservativa.

Si effettua una nuova osservazione del Sole con il sistema *On the Fly* utilizzando entrambe le antenne dell'interferometro.

Visualizzando contemporaneamente tutte le tracce ottenute dall'osservazione: il segnale della singola antenna e quelli ottenuti dall'interferometro nelle due modalità somma e prodotto, si può subito fare una valutazione qualitativa delle differenze tra le due procedure osservative.

Questo argomento, a seconda della preparazione degli studenti, può essere portato avanti in una discussione anche ampia. Di seguito sono riportati alcuni possibili spunti di osservazione e di discussione (si veda anche figura 6 a pagina 6).

a) L'inviluppo dato dal *total power* (traccia bianca): l'attenuazione delle frange dovuta al *beam*, cioè legata al campo di vista accessibile a ciascuna antenna singolarmente.

b) Cosa sono le frange, concetti di interferenza tra onde: la diffrazione di un'onda elettromagnetica da due fenditure che abbiano dimensioni e distanze appropriate. Osservare la differenza tra somma (traccia verde) e prodotto (traccia gialla): la somma è sempre positiva, il prodotto invece è simmetrico attorno allo zero.

d) Nel caso siano presenti interferenze nell'osservazione, si possono esaminare le differenze tra i vari tracciati anche da questo punto di vista: interferenze eventualmente presenti nelle osservazioni ottenute con antenna singola e con l'interferometro in modalità "somma", sono assenti o comunque molto attenuate nella modalità "prodotto". Questo deriva dal fatto che essendo le interferenze segnali spuri molto localizzati, quasi sempre compaiono nell'osservazione di una sola delle due antenne (segnale non in fase) e sono quindi eliminate se si fanno interferire i due segnali (interferenza *distruttiva*).

e) L'interferometro offre come importante vantaggio la maggior facilità di ricevere e riconoscere segnali celesti particolarmente deboli, facilmente confondibili con segnali con il rumore del ricevitore.

La presenza di una frangia di ampiezza (e frequenza) ben caratterizzata e prevedibile rende sicuramente più facile "estrarla" dal rumore caotico sottostante.

Potere risolutore e distanza tra le antenne

Per un interferometro, le frange di interferenza sono tanto più ravvicinate quanto più le antenne che lo compongono sono lontane. A frange più strette corrisponde un miglior potere risolutore (capacità di osservare dettagli fini).

Effettuiamo quindi una misura del potere risolutore del nostro strumento a partire dalle frange di interferenza.

La misura del potere risolutore $\Delta\theta$ si ottiene dalla formula;

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{D} \text{ radianti} \qquad 1 \text{ rad} = \frac{180}{\pi}$$

in cui conosciamo il valore della lunghezza d'onda di osservazione ($\lambda=23 \text{ cm}$).

Il potere risolutore è esprimibile anche come l'angolo sotteso in cielo da due frange di interferenza:

$$\Delta\theta = v\Delta t \text{ gradi}$$

dove v è la velocità di scansione, in gradi/sec, con cui l'interferometro si muove, e Δt è l'intervallo temporale, in secondi, tra due picchi del segnale.

Δt è ricavabile dal grafico, e corrisponde al numero di divisioni che separano due picchi moltiplicato per 10 secondi.

La velocità di scansione in gradi/sec può essere ottenuta dalla tabella 2 in funzione dell'elevazione della sorgente celeste al momento dell'osservazione (la velocità lineare dell'interferometro è costante, quindi la velocità angolare dipende dall'elevazione in cielo della sorgente osservata).

Elevazione (gradi)	Velocità (gradi/sec)
0.0	0.3650
5.0	0.3636
10.0	0.3594
15.0	0.3525
20.0	0.3429
25.0	0.3308
30.0	0.3160
35.0	0.2989
40.0	0.2796
45.0	0.2580
50.0	0.2346
55.0	0.2093

60.0	0.1824
65.0	0.1542
70.0	0.1248
75.0	0.0944
80.0	0.0633
85.0	0.0318

Tabella 2 *Velocità di scansione dell'interferometro, in funzione dell'elevazione della sorgente celeste.*

Confrontando le due espressioni di $\Delta\theta$, e inserendo i dati noti, possiamo quindi valutare la distanza tra le antenne dell'interferometro. La posizione da cui vengono eseguite tutte le osservazioni (di fronte alla finestra che dà sulle antenne dell'interferometro) permette agli studenti di valutare direttamente la validità delle loro misurazioni e dei calcoli effettuati.

Conclusioni

L'esperienza di laboratorio descritta è attiva presso il Centro Visite "M. Ceccarelli" dei radiotelescopi di Medicina dell'INAF-Istituto di Radioastronomia di Bologna. Dopo un anno di sperimentazione con le ultime classi di alcuni Licei Scientifici più vicini al Centro (logisticamente e/o per interesse e coinvolgimento dei docenti), nell'autunno del 2011 l'esperienza è stata diffusamente proposta alle scuole. I feedback, sia da parte degli insegnanti che degli studenti, sono molto positivi e le richieste in continuo aumento.

Entro la primavera 2012 è previsto l'ampliamento dell'offerta, attraverso un parziale riallestimento dell'area dedicata all'attività, in modo da poter accogliere anche le classi più numerose.

Sintesi sul valore didattico dell'esperienza

Il maggiore impatto di questa nuova attività è quello di permettere agli studenti di effettuare in prima persona un'osservazione radio, con strumentazione didattica, facilmente comprensibile e "leggibile".

La trattazione diretta dei file di output dell'interferometro e la misura fatta sulle osservazioni appena eseguite sono uno strumento didattico fondamentale perché prevedono il coinvolgimento diretto nella sperimentazione.

Infine, il merito dell'attività in termini di contenuti è quello di permettere agli studenti, con pochi requisiti base, di affrontare argomenti di discreta complessità, scomponendoli in pochi contenuti fondanti e fondamentali.

Ringraziamenti

Karl-Heinz Mack per la revisione di questo testo, Roberto Ricci e Simona Righini per aver contribuito attivamente a dettagliare e testare la procedura.