

Ci eravamo lasciati con una domanda: perché i radiotelescopi devono essere così grandi? E sì, perché un radiotelescopio è alto come un edificio di sei piani, se è tra i più piccoli, non parliamo dei più grossi. Qualche esempio? Qua sotto vedete una foto del radiotelescopio dove io lavoro, nelle campagne di Noto (SR, <http://www.noto.ira.inaf.it/>).



Figura 1 – Radiotelescopio di Noto

E' una parabola di 32 metri di diametro per 45 di altezza. E non è tra le più grandi: nella figura successiva potete vedere il radiotelescopio di Effelsberg (http://www.mpifr-bonn.mpg.de/div/effelsberg/index_e.html), vicino Bonn (Germania), che è l'antenna (ricevendo onde radio, spesso chiamiamo così i nostri telescopi) completamente orientabile più grande



Figura 2 – Radiotelescopio di Effelsberg



Figura 3 – Radiotelescopio di Green Bank

d'Europa, con i suoi 100 metri di diametro e seconda al mondo solo al radiotelescopio di Green Bank (<http://www.gb.nrao.edu>), in West Virginia (USA), che ha una superficie leggermente superiore, dato che il suo specchio non è circolare ma ellittico, e misura 100X110 metri (fig. 3). La palma del più grande radiotelescopio in assoluto spetta però a quello di Arecibo (<http://www.naic.edu/>, fig. 4), in Portorico (USA,), che ha un diametro di 305 metri. Costruito nel cratere di un vulcano spento, non si può orientare ossia non possiamo puntarlo sulla sorgente che vogliamo osservare, ma possiamo solo aspettare che una sorgente gli passi sopra. Uno strumento così lo chiamiamo *di transito*.



Ma cerchiamo di rispondere alla domanda. Qualunque strumento di osservazione astronomica deve avere la migliore *sensibilità* e il migliore *potere risolutivo* possibili, perché possa dare risultati scientificamente rilevanti. Queste due caratteristiche dipendono dalle dimensioni dello strumento, e adesso vedremo in che modo.

La *sensibilità* dipende dal più debole segnale rivelabile con il nostro strumento: la sensibilità sarà maggiore in uno strumento in grado di rivelare segnali più deboli. Per portare un esempio intelligibile ho bisogno dei vostri personali strumenti di rilevazione della radiazione elettromagnetica: no, non i cellulari,...no, nemmeno la radio. Avete con voi strumenti molto più raffinati di questi, e li avete da quando esistete: parlo dei vostri occhi. Ricordate? Abbiamo detto che i fotoni ottici, la luce che vedete con i vostri occhi, non differiscono dai fotoni radio che per la sola energia trasportata. Quindi i vostri occhi sono dei recettori esattamente uguali a qualsiasi altro strumento che riveli la radiazione elettromagnetica, come binocoli, telescopi, macchine

fotografiche, ma anche del tutto simili ai radiotelescopi. Bene, i vostri strumenti di acquisizione dovrebbero essere già accesi, per cui vi chiedo di puntarli sulla figura 5.



Figura 5

Vedete, credo abbastanza bene, una stella in campo nero. Ora, spostate lo sguardo sulla figura accanto, la numero 6: qui la stella appare meno luminosa, ma sempre visibile.



Figura 6

Quindi diminuiamo ancora la luminosità e guardiamo la figura 7. Qui la stella è percettibile a stento, riuscite a distinguerla dal fondo nero con difficoltà.



Figura 7

Bene, state sperimentando la sensibilità dei vostri occhi. Un segnale più basso di così, ossia una stella meno luminosa, non riuscireste a vederla, si confonderebbe con il fondo. Quindi quello che vedete è grosso modo il più debole segnale percepibile dai vostri strumenti personali. Ma come si lega la sensibilità alle caratteristiche dello strumento? Semplice: maggiore è l'area dello strumento maggiore sarà la sensibilità, e quindi più piccolo il più debole segnale rivelabile. Lo possiamo capire facilmente in questo modo. Immaginate di dover raccogliere della pioggia, e per farlo mettete un secchio nel vostro balcone. Finalmente inizia a piovere e l'acqua si raccoglie nel secchio. Finita la pioggia prendete il secchio e vi accorgete che l'acqua ha raggiunto una certa altezza sul fondo, diciamo 2 centimetri. Ora, potete provare se volete, in qualsiasi recipiente voi raccoglierete acqua piovana l'altezza raggiunta sarà sempre uguale, perché è uguale il numero di gocce che cade per ogni metro quadro di terra.

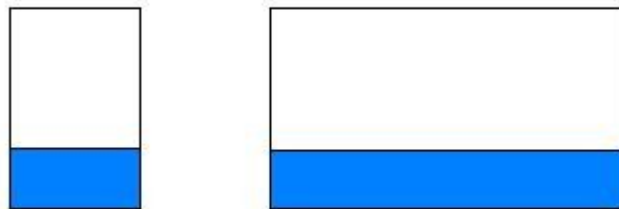


Figura 8

Quindi, se accanto al secchio mettessi una vasca da bagno (fig. 8) avrei sul fondo di entrambi due centimetri di pioggia raccolta. Ma la quantità di acqua è ovviamente diversa: il secchio ha una superficie di raccolta inferiore alla vasca e quindi conterrà meno acqua. Se invece di una bella piovuta avessimo avuto solo una pioggerellina breve e sottile, sul fondo del secchio si sarebbero raccolte solo poche gocce, che magari evaporerebbero subito, mentre nella vasca si avrebbe una certa quantità di acqua, sempre molto piccola, ma più resistente all'evaporazione. La cosa è assolutamente identica per la radiazione raccolta da un radiotelescopio, quindi un'antenna con una maggiore superficie raccoglierà un maggior numero di fotoni e quindi se la sorgente è debole, cioè invia sulla terra pochi fotoni come una pioggerellina sottile, solo le antenne più grandi potranno raccogliere una quantità di fotoni sufficiente ad essere rivelata. In definitiva la sensibilità di un radiotelescopio dipende dalla sua area quindi all'incirca da $4\pi D^2$, dove D è il diametro dello strumento.

E' dunque questa la ragione per cui i radiotelescopi sono costruzioni imponenti? Non esattamente. Certo sono strumenti molto sensibili, ma sono comunque utilissimi anche i loro cugini ottici, i telescopi, che al massimo hanno diametri di diversi metri, non di decine. La spiegazione sta, in effetti nella seconda caratteristica di cui parlavamo.

Il *potere risolutivo* di uno strumento è la sua capacità di distinguere i dettagli di una immagine. In particolare è rappresentato dal più piccolo dettaglio che può distinguere. Torniamo a utilizzare i vostri strumenti per capire. Quando vi trovate a passeggio in una lunga via noterete che non si possono riconoscere i volti delle persone molto distanti da voi. In pratica non vedete due occhi, un naso, magari una barba, la bocca e così via, ma una massa indistinta color carne che diviene intelligibile solo quando la persona arriva ad una minore distanza, una distanza sufficiente

per distinguere i dettagli del volto. Guardiamo ora la figura 9: se vi trovate a più di 50 cm dallo schermo, e siete esseri umani di questo pianeta, non dovrete capire di cosa si tratta.



Figura 9

La cosa diviene più chiara se guardate la figura 10 in cui si può vedere chiaramente l'immagine familiare di Topolino. Avete anche un'alternativa: guardare la figura 8 avvicinandovi allo schermo. Noterete che anche così riuscirete a riconoscerlo. State sperimentando il potere risolutivo dei vostri occhi.



Figura 10

Per dare una misura a questa caratteristica facciamo ricorso alla figura 11. Supponiamo che le due palline rosse siano due dettagli di Topolino che dobbiamo vedere ben distinti per poterlo riconoscere, diciamo le orecchie.

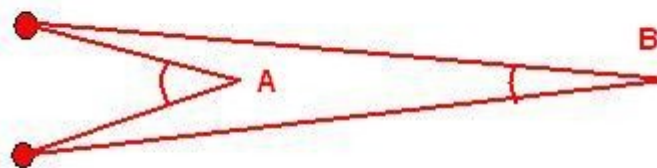


Figura 11

Se chi guarda si trova nel punto A, immaginate di tracciare due linee che partono da ciascuna delle orecchie e arrivano alla fronte dell'osservatore. Vedete che le linee individuano un angolo che rappresenta quella che in astronomia si definisce *distanza angolare* tra due oggetti. Ora portate l'osservatore in B. Anche se la distanza in centimetri tra le due orecchie non è cambiata, la distanza angolare è divenuta più piccola, proprio perché l'osservatore è più distante. Ecco perché, se volete riconoscere Topolino nella figura 8 dovete avvicinarvi: a più di 50 centimetri dallo schermo la distanza angolare tra due particolari di Topolino è maggiore del potere risolutivo del vostro occhio e non è possibile distinguerli. Ma se vi avvicinate, aumentate la distanza angolare tra i dettagli fino a

farla diventare maggiore del potere risolutivo dell'occhio. In pratica, il potere risolutivo è la più piccola distanza angolare che può essere risolta dallo strumento.

Ma noi non possiamo avvicinare stelle e galassie per aumentare la distanza angolare: ci è però consentito di aumentare il potere risolutivo dei nostri strumenti facendo diminuire la minima distanza angolare osservabile. Il potere risolutivo dipende infatti dalla lunghezza d'onda λ della radiazione osservata, divisa per il diametro dello strumento: λ/D . Dimostrare questa affermazione richiederebbe un po' di matematica, che vi risparmio. Prendetela per buona! Quindi, i nostri radiotelescopi sono così grandi per raggiungere il massimo potere risolutivo ottenibile.

Andiamo allora a vedere quanto vale il potere risolutivo di un occhio. Lunghezza d'onda della radiazione, circa 5 milionesimi di metro (quella ottica è così piccola), diametro dello strumento circa 5 millimetri, quindi facendo due conti circa 20 secondi d'arco. Quindi se la distanza angolare tra due dettagli di un'immagine è inferiore a questo valore noi non riusciremo a raccapazzarci di che si tratta. Ma cediamo cosa succede per una radiotelescopio. In questo caso la lunghezza d'onda è molto maggiore, diciamo 20 centimetri, un valore tipico, mentre ad esempio per il radiotelescopio di Noto il diametro è di 32 metri. Fatti i calcoli si ha un potere risolutivo di 21 primi d'arco, quindi $21 \times 60 = 1260$ secondi d'arco. Qualcosa come 63 volte peggio del nostro occhio! E la cosa non migliora molto per i radiotelescopi più grandi: il potere risolutivo diventa di circa 400 secondi d'arco, ancora troppo alto persino per competere con i nostri occhi, figurarsi con i telescopi ottici, che a terra raggiungono risoluzioni di un secondo d'arco, ossia 400 volte meglio di un radiotelescopio tra i più grandi, e in orbita sono fino a 4000 volte più in gamba.

A questo punto vi chiederete cosa ne abbiamo mai fatto di questi enormi inutili pachidermi visto che si parla di osservazioni radio fin dagli anni '30. L'Uomo ha fatto sempre in modo di trovare soluzioni che gli consentissero di arrivare indirettamente a risultati irraggiungibili in modo diretto. E qui ci vengono incontro un altro fenomeno fisico, chiamato interferenza, e una cosa da sempre tanto snobbata quanto utile: la matematica. Non è questa la sede per dire quanto bistrattata sia questa branca dello scibile e quanto invece sia silenziosamente utile anche alla vita comune. Per ora concentriamoci su come sia stata utilizzata per fare anche meglio di un telescopio ottico, in fatto di potere risolutivo.

Supponiamo di voler fare un'osservazione radio non con un solo radiotelescopio, ma con due, posti ad una distanza d l'uno dall'altro (fig. 12).

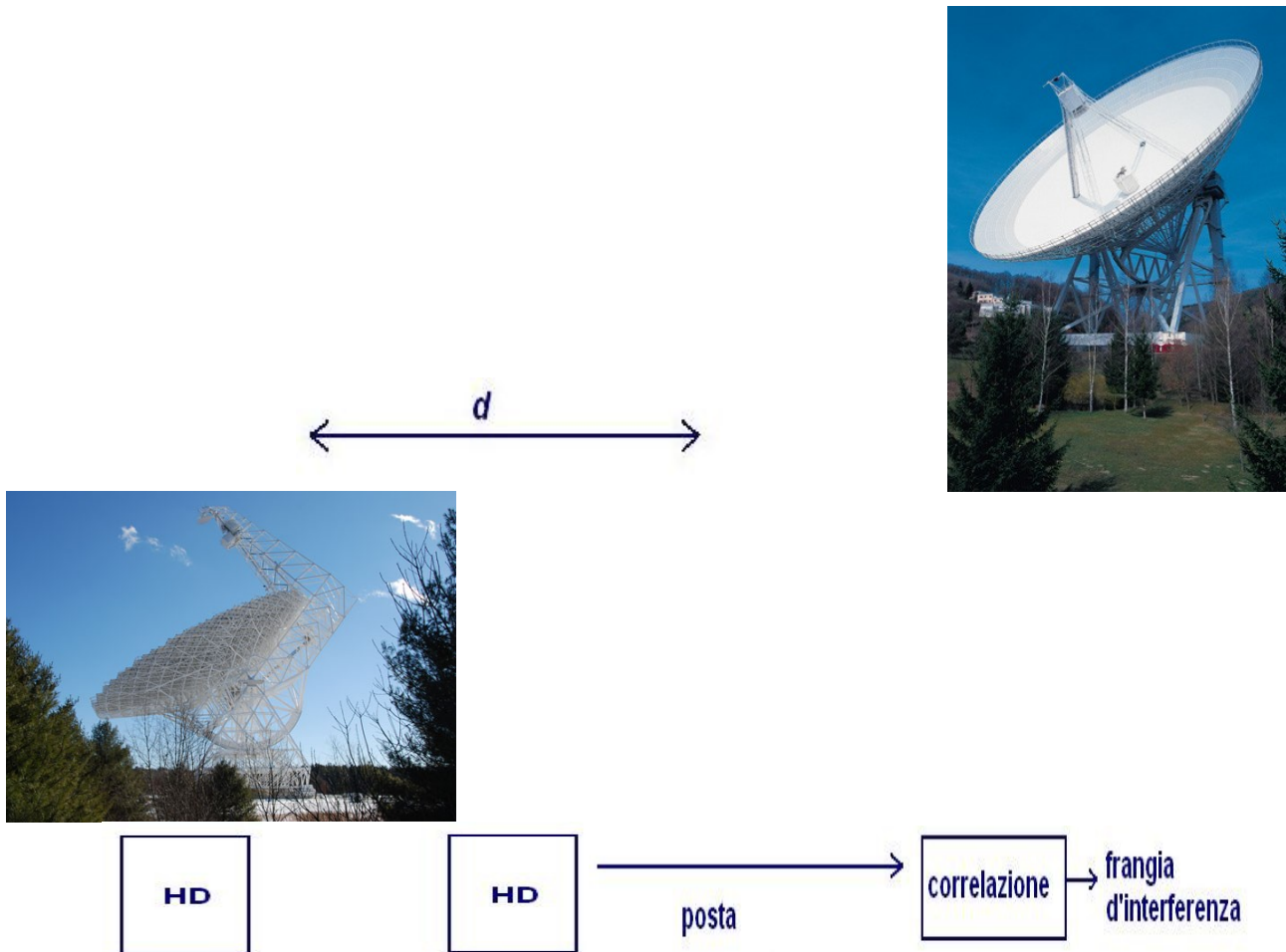


Figura 12

I due radiotelescopi osserveranno simultaneamente la stessa sorgente e registreranno, ciascuno su di un supporto magnetico (fino a poco tempo fa un nastro, adesso dischi rigidi per computer), il segnale rivelato insieme con una marcatura di tempo estremamente precisa, curata per ogni stazione da un oscillatore che chiameremmo ‘orologio atomico’. Il segnale così registrato viene quindi correlato in un secondo momento in modo da ottenere una figura di interferenza, che nel gergo dei radioastronomi chiamiamo *frangia di interferenza*. Cosa è l’interferenza? Dirlo in due parole è difficile, si può dire che se si “mescolano” insieme due onde di qualunque tipo (e le onde elettromagnetiche non fanno differenza) in una certa regione, si ottiene che in alcuni punti di questa regione le onde si amplificano a vicenda, aumentando anche di molto la loro intensità, mentre in altri punti succede il contrario e le onde si annullano tra loro. Il risultato è proprio la figura di interferenza. Ora questa figura, o frangia, è in relazione al potere risolutivo non più delle singole antenne, ma della loro combinazione. In particolare il potere risolutivo della combinazione di antenne dipende non più dalle dimensioni delle singole antenne ma dalla distanza tra di esse.

Ale’! Non sappiamo costruire antenne dal diametro di chilometri, come sarebbe necessario per ottenere il potere risolutivo necessario, ma possiamo costruire tante antenne a diverse distanze tra loro. In un sistema di antenne il potere risolutivo finale dipende dalla distanza massima tra due antenne. E’ qui che entra in gioco la matematica: per avere un sistema che si comporta veramente come un’antenna enorme bisognerebbe ricoprire una superficie grandissima tutta di antenne, con costi e problemi costruttivi proibitivi. La matematica, ed in particolare una cosa chiamata *trasformata di Fourier* ci consente di ottenere lo stesso risultato che si avrebbe costruendo antenne a tappeto, distribuendone solo alcune qua e là sulla stessa superficie. La matematica è complessa, ma capire il principio è semplice. Immaginate di dover andare ad una festa. Vi preparate, vi vestite e al momento di darvi l’ultima guardata d’insieme nello specchio dell’armadio scoprite che una pallonata, peraltro non confessata, dei vostri figli (per chi ne ha, i fratellini andranno bene per gli

altri) lo ha mandato in frantumi. La maggior parte dello specchio è sparito (come avranno portato via i frammenti?!), ma alcuni pezzi sono rimasti attaccati all'anta, qua e là. Che fare? Volete guardarvi, capire se avete qualcosa fuori posto, ma non c'è tempo per cercare una soluzione alternativa (anche la ramanzina va rimandata! Grrr!). E allora cercate comunque di sfruttare quello che c'è: guardate qualche particolare che sapete possa avere qualche problema: quel ciuffo che non sta mai giù nemmeno a cannonate, quella piega della giacca che si ostina a ricomparire e via così. Per il resto fate affidamento a quel che vi ricordate del vostro aspetto e dei vestiti che avete indossato. In pratica, combinate insieme delle informazioni di massima che sapete su di voi con quelle che riuscite ad ottenere dai frammenti di specchio rimasti. Il principio è identico: è possibile ricostruire l'informazione che manca, a causa della mancanza di un certo numero di antenne, a partire da considerazioni generali. Si mette insieme il tutto e si ottengono immagini con potere risolutivo anche maggiore dei migliori telescopi ottici esistenti.

Oggi esistono sistemi di antenne sparsi in tutto il mondo che sfruttano quello che con un acronimo inglese (quanto gli piacciono gli acronimi, agli americani!) richiama VLBI: Very Long Baseline Interferometry, ossia interferometria a lunghissima base, che è il principio che abbiamo appena illustrato. L'antenna di Noto fa parte dell'EVN, European VLBI Network, ossia la rete europea che si occupa di osservazioni radio interferometriche.

Ora vi chiedo un favore: non fatevi mai mancare domande e pazienza per ascoltare le risposte. Poi potrete dissentire quanto volete, ma solo da domande e risposte siamo cresciuti e continuiamo a farlo, sia singolarmente che come umanità. E quindi poichè le domande devono continuare ci chiediamo: che cosa possiamo mai ottenere dalle osservazioni nella banda radio? Spero di rispondere prossimamente, in tempi meno biblici, stavolta!