

VLA: molte antenne insieme per ascoltare il cosmo

Il National Radio Astronomy Observatory gestisce da Socorro (N. M.) due tra i più importanti radiotelescopi del mondo: il Very Large Array (VLA) e il Very Long Baseline Array (VLBA). Questi strumenti, della National Science Foundation, sono usati da centinaia di scienziati ogni anno nel tentativo di svelare alcuni segreti dell'universo.

La radioastronomia è una branca abbastanza nuova dell'astronomia che tuttavia ha contribuito enormemente ad allargarne gli orizzonti. Le onde radio provenienti dal cosmo furono rivelate da Jansky negli anni '30 e da allora sono diventate una parte importante della ricerca astronomica. Dopo aver attraversato la vastità degli spazi siderali, queste onde cosmiche, arrivano così deboli da richiedere enormi parabole e ricevitori sensibilissimi per essere rivelate. Uno degli strumenti adatti a ricevere questi sussurri cosmici e trasformarli in radioimmagini è il VLA (Very Large Array) con le sue 27 parabole situate nella piana di San Augustin (nella parte centrale del New Mexico), in una traversa della US60 tra Magdalena e Datil. Al visitatore le antenne appaiono d'improvviso in lontananza, come dei puntini bianchi che contrastano fortemente con il paesaggio circostante, avvicinandosi questi punti assumono forma e dimensioni, rivelandosi per quello che realmente sono. Si comprende a questo punto che la meta è vicina, un cartello vi indicherà la direzione per raggiungere la destinazione, dove troverete un centro per i visitatori aperto ogni giorno dalle 8:30 fino al tramonto, a questo punto siete circondati dal complesso delle antenne (se il sistema sta operando nella configurazione con le parabole poste entro 600 m). Appena varcata la soglia e superato l'impatto con il clima polare (caratteristico di ogni luogo chiuso negli USA), vi troverete una finestra aperta sull'universo. Qui trovano risposte quasi tutte le vostre domande sull'universo delle onde radio e la costruzione del VLA; se per caso non vi bastasse potete incamminarvi in una passeggiata "fai da te" tra le antenne, attraverso un percorso opportunamente predisposto con cartelli esplicativi (uno a cui si presta molta attenzione è sicuramente: "Attenti ai serpenti..." lo penserete ad ogni cinghia rotta di auto che troverete sulla strada) che vi permettono di capire come è fatto e come lavora tutto il sistema. La paura dei serpenti passerà presto, soprattutto se vi capita di assistere allo spostamento delle antenne su una successiva radiosorgente: vedrete tutte le 27 antenne muoversi all'unisono, come se fossero una sola, con un rumore sordo che sembra provenire dal cosmo per ricordarci quanto questo sia immenso e misterioso. Ripercorriamo ora brevemente la storia di questa complessa realizzazione.

La storia del VLA

Il suo nome deriva dal modo con cui inizialmente si era denominato tale ambizioso progetto: trattandosi di fatto di una schiera di antenne niente di più appropriato che chiamarlo Very Large Array, tale nome pur non avendo la pretesa di essere quello definitivo lo divenne però di fatto. I progetti di fattibilità del VLA traggono origine da studi realizzati nei primi anni '60 dal National Radio Astronomy Observatory (NRAO), volti alla ricerca di sistemi in grado di eliminare, o quantomeno ridurre, i tre principali punti deboli della radioastronomia: la bassa risoluzione, la scarsa sensibilità e l'impossibilità di elaborare velocemente le immagini radio. Nel 1967, dopo che il progetto aveva raggiunto una ragionevole definizione, venne sottoposta alla National Science Foundation una

proposta per la costruzione e la gestione di un tale sistema. Il progetto si modificò nel suo percorso attraverso vari comitati, fino a quando si ottenne l'autorizzazione dal congresso americano (agosto 1972) e i lavori poterono così iniziare nell'aprile 1974. La prima antenna venne assemblata sul posto nel 1975 e con sei antenne operative, il VLA era in grado di iniziare le osservazioni nel 1977; successivamente nel gennaio 1981 veniva completato con un costo totale di 78,6 milioni di \$, rispettando sia i tempi (veniva completato con un anno di anticipo) che i costi stimati per l'intera opera. Questo anche grazie al prezioso lavoro dei tecnici che realizzarono in loco la maggior parte degli apparati e del software necessario. Ancora oggi i Software sviluppati al VLA vengono ampiamente utilizzati dai radioastronomi di tutto il mondo.

Una grande schiera di antenne

Il VLA è usato per produrre immagini radio ad alta risoluzione, paragonabili a quella dei telescopi ottici, ma per fare questo (con una singola antenna e alle frequenze radio) ci vorrebbe un'antenna grande 27 Km, impossibile da realizzare come unità singola. Possiamo realizzarla però usando tante antenne più piccole disposte a Y con i bracci lunghi circa 21 Km, successivamente combinando fra loro i segnali di ciascuna antenna potremo sintetizzare un unico gigantesco strumento. Per questo 27 parabole con un diametro di 25 m, sono disposte su di una Y i cui bracci misurano: 19 Km il lato nord e 21 Km gli altri due (il tutto equivale ad una singola parabola con diametro di 36.000 m ma con la sensibilità paragonabile ad una da 130 m). La superficie di ciascuna parabola è lavorata appositamente per operare con il VLA, infatti i pannelli di alluminio sono rifiniti con una precisione di 0,5 mm, che consente alle antenne di ricevere lunghezze d'onda inferiori al centimetro (la gamma di frequenze coperta dal VLA spazia da 300 a 50.000 MHz, ovvero da 90 a 0,7 cm). L'antenna può inseguire una sorgente radio in cielo con una precisione di 15 secondi d'arco (1/100 del diametro apparente della Luna) ed una velocità di 40° al minuto in azimuth e 20° in elevazione, un risultato notevole se si pensa al loro peso (235 t, solo il riflettore mobile pesa 100 t), e può osservare oggetti fino a 8° di altezza sull'orizzonte. Durante la costruzione del VLA, le antenne venivano assemblate in un apposito edificio che viene ora usato per la loro periodica manutenzione, infatti ogni 3 o 4 anni ogni antenna viene completamente revisionata. Per trasferirle si usano degli appositi trasportatori pesanti a vuoto 100t che procedono a 16Km/h (velocità che si riduce a 6,5Km/h durante il trasporto di un'antenna) completamente autonomi in quanto ad energia e propellente. Durante il trasferimento, parte dell'energia viene fornita all'antenna sia per tenerla refrigerata che per mantenere l'elettronica a regime durante il tragitto che richiede circa 2 ore da una stazione all'altra. La risoluzione del VLA, ovvero la capacità di distinguere fini dettagli in una radioimmagine, può essere cambiata in funzione delle esigenze dell'osservatore (un'immagine ad alta risoluzione può mostrare dettagli di un nucleo galattico, ma solo un'immagine a grande campo può evidenziare la struttura della galassia). Quando le antenne sono raccolte e vicine tra loro, il sistema si comporta analogamente ad una macchina fotografica con un grandangolo, mentre allontanandosi fino a 36.000 m, l'effetto è quello di un teleobiettivo, permettendo così un'osservazione più dettagliata dell'oggetto. il VLA consente 4 configurazioni standard dove la distanza fra le antenne cambia da 600 m fino a 36.000 m e con quest'ultima dimensione, lavorando a 43 GHz la risoluzione

risulta essere di 0,04 sec/arc (sufficiente per vedere una pallina da golf a 150Km di distanza). Dovendo modificare la configurazione della schiera, occorre circa una settimana per riposizionare tutte le 27 parabole, ed una volta mosse resteranno in quella configurazione per alcuni mesi.

Il percorso del segnale

Queste onde radio dopo essere state focalizzate e raccolte da ciascuna antenna, vengono inviate ai ricevitori che per ridurre il rumore generato internamente (rumore che tende a nascondere i deboli segnali provenienti dal cosmo) sono raffreddati a 18°K. Questi segnali sono amplificati molti milioni di volte e inviati all'edificio di controllo (Control Building) attraverso guide d'onda: ovvero delle cavità che permettono alle lunghezze d'onda molto corte di propagarsi al loro interno con piccole perdite su tratti molto lunghi (le Guide d'onda del VLA sono sotterranee). Grazie al fatto che la guida d'onda è un sistema bidirezionale, è possibile trasmettere in un senso all'antenna sia i comandi che i segnali di riferimento, e in senso opposto il segnale cosmico captato, tutto nella stessa guida. Una volta a destinazione il segnale viene estratto, amplificato e quindi digitalizzato per essere inviato ai computer dedicati che provvederanno a moltiplicarlo con i segnali provenienti dalle altre antenne.

L'elaborazione del segnale

Senza i computer le operazioni del VLA sarebbero impossibili. Molte migliaia di istruzioni vengono inviate all'insieme delle antenne, oltre alle migliaia di parametri di controllo e all'enorme quantità di dati astronomici che vengono prodotti ogni secondo. I dati accumulati in un certo periodo di tempo (da pochi minuti a molte ore) devono essere processati e combinati tra loro per formare la radioimmagine. Le immagini radio vengono memorizzate in forma numerica in un computer che le codifica in funzione dell'intensità dell'emissione e le visualizza a colori o secondo una scala di grigi. L'immagine inizialmente è grezza e deve essere elaborata per eliminare alcuni artefatti (strutture generalmente circolari) dovuti alla presenza dei lobi secondari (*problema comune a qualsiasi antenna comprese quelle TV, l'antenna è molto sensibile ai radiosegnali che provengono di fronte, ma è in grado di ricevere anche segnali che provengono da dietro o dai fianchi, soprattutto se è poco direttiva, motivo per cui a volte, nella ricezione televisiva, si vedono immagini riflesse*), per questo viene impiegato un programma chiamato CLEAN. Successivi programmi provvederanno a rendere l'immagine molto più contrastata, eliminando gli errori di fase causati dal sistema dei cavi o da problemi di tipo meteorologico (ricordiamo che nella massima configurazione la distanza tra le antenne è di parecchi chilometri). I dati di ciascuna delle 27 antenne è affetto da errori di fase sconosciuti, in pratica ci vorrebbero 27 equazioni per risolvere il problema. Un algoritmo che ha permesso di superare tale ostacolo si basa sul fatto che al VLA vi sono 351 coppie possibili tra le 27 diverse antenne (ovviamente un sistema con due incognite è molto più semplice di uno con 27), con queste è stato possibile creare le equazioni per ottenere la soluzione del problema. Ovviamente l'uso più intensivo del computer è nei calcoli necessari a formare ed analizzare queste immagini, tali dati alla fine del procedimento verranno memorizzati su nastro magnetico per future consultazioni, ma i computer al VLA oltre all'elaborazione dei dati verificano continuamente le prestazioni di

migliaia di componenti sia delle antenne che della Sala di Controllo ed in alcuni casi provvedono direttamente all'esclusione di parti difettose commutando le operazioni sugli apparati funzionanti.

Alcuni risultati

Sarebbe impensabile dare conto in queste poche righe della mole di ricerche condotte al VLA (il sito Internet sarà sicuramente più esaustivo www.aoc.edu/vla/html) Importanti contributi sono stati portati dai ricercatori del VLA in vari settori: dalle Stelle che esplodono alle Galassie, dai Pianeti alla Cosmologia. Il VLA non è stato impiegato solo per osservazioni infatti nel 1989 riceveva i dati dalla sonda Voyager durante il sorvolo di Nettuno, mentre nel 1995 erano i deboli segnali provenienti dal probe atmosferico sganciato dalla sonda Galileo nelle nubi gioviane ad impegnare le sue sensibili antenne. Il VLA ha riscosso molte simpatie anche da Hollywood che l'ha usato più volte per girare film di fantascienza come 2010 (il seguito di: 2001, Odissea nello spazio) o il più recente Contact. La grande richiesta di tempo per effettuare osservazioni con le sue sensibili antenne ha suggerito la possibilità di espandere le prestazioni di questo prezioso strumento della conoscenza umana. Il progetto di Aggiornamento (che proprio mentre scriviamo sta per essere ultimato) prevede di rendere il VLA 100 volte più veloce, permettendogli di coprire con più agilità una gamma di frequenze maggiore, migliorandone la risoluzione di 50 volte con un costo complessivo di circa 150 milioni di \$.

Conclusione

La combinazione di elevata risoluzione e sensibilità rendono il VLA uno dei più potenti radiotelescopi del giorno d'oggi ed in futuro gli aggiornamenti lo confermeranno come uno strumento di punta della ricerca astronomica. Per il visitatore, appassionato a questa incredibile scienza, il fascino del VLA resterà immutato: osservare questi strani giganti che muovendosi all'unisono con un sussurro che mette i brividi, puntano una zona di cielo e la scrutano per ore cercando di carpirne i più reconditi segreti, fino a svelarci ciò che altrimenti ci resterebbe nascosto per sempre, lascia spazio a molti pensieri: alcuni soggettivi e personali, altri più collettivi che ci invitano a meditare su come l'uomo e la sua intelligenza abbia saputo creare una struttura così complessa dove il braccio (le antenne del VLA e le sue complesse infrastrutture) e la mente (i sofisticati procedimenti matematici applicati ai segnali per estrarre i dati cercati) si fondono insieme per permetterci di scrutare l'universo fino ai confini dove hanno avuto origine lo spazio e il tempo.

Piermario Ardizio

Le Guide D'Onda

Quando si comincia a parlare di frequenze molto alte, l'utilizzo di cavetti per trasferire i segnali diventa problematico a causa delle perdite a cui questi ultimi vanno soggetti, per questo motivo con frequenze da 3 GHz in su, vengono utilizzate le Guide D'Onda. A differenza del cavo coassiale la trasmissione dell'onda avviene per riflessioni successive sulle pareti della guida (per questo tali pareti devono avere dimensioni paragonabili alla Lunghezza d'onda usata). In una guida rettangolare una parete è doppia dell'altra, ma non vi sono però solo guide rettangolari (il cui pregio è di definire chiaramente la polarizzazione dell'onda proprio a causa del loro profilo geometrico), se ne trovano di circolari, ellittiche...ecc. Nella foto si osserva una guida rettangolare fissa per i 10 GHz ed una flessibile (per questo presenta quella particolare superficie corrugata). La distanza che un'onda può percorrere in una guida è di parecchi chilometri, in quanto le perdite sono molto più basse rispetto ad un cavo coassiale (soprattutto se si sale in frequenza), ma non sono comunque nulle. La guida d'onda è un sistema bidirezionale è possibile quindi, con la stessa guida, fare arrivare all'antenna sia comandi che segnali di riferimento in un senso, mentre in senso opposto, trasmettere il segnale cosmico (opportunamente amplificato) captato dalle antenne.

Piermario Ardizio

Come fotografare le onde radio

Se i nostri occhi potessero vedere le onde radio invece della luce, il cielo risulterebbe molto diverso da quello a cui siamo abituati. Le famigliari stelle luminose non sarebbero più visibili, osserveremmo una quantità di nebulosità diffuse originate dall'emissione del gas interstellare caldo, oppure dai raggi cosmici di alta energia nella loro danza lungo le linee del campo magnetico galattico. Infatti gli oggetti più luminosi del cielo radio non sono le stelle vicine, ma distanti galassie che vanno soggette a violenti brillamenti in cui sono coinvolti impressionanti quantità di materia ed energia. Così gli astronomi del VLA invece di analizzare la luce di questi oggetti rivelano le radioonde che questi emettono, producendo delle immagini analogamente ai loro colleghi che lavorano nel visibile con lastre fotografiche o CCD, il procedimento per arrivare a tali immagini è però profondamente diverso rispetto all'ottico. Ora qualsiasi oggetto nell'universo che emetta onde radio è considerato una radiosorgente, ma per osservarla (dato che i nostri occhi non vedono direttamente le onde radio) ci dobbiamo affidare a sistemi elettronici che permettono di codificare in modo a noi comprensibile (generalmente immagini, solo raramente suoni) questi radiosegnali. Il sistema più semplice per riprodurre l'emissione radio di una certa porzione di cielo è certamente una mappa a radioisofote, ricavata unendo tutti i singoli punti di uguale intensità. Si intuisce che per produrre una simile mappa occorre che il radiotelescopio effettui una scansione accurata della zona di cielo rilevandone "punto per punto" l'intensità dell'emissione radio (questa operazione sarà strettamente collegata alla risoluzione dello strumento usato). La stessa operazione viene fatta se vogliamo ottenere un radiogramma del cielo: ovvero un'immagine con vari livelli di grigio. Il procedimento è abbastanza semplice: basta modulare un raggio di luce diretto verso una pellicola fotografica con l'intensità del segnale radio (con il nero si rappresenta l'assenza di segnale, con il bianco il valore massimo rilevato, mentre i vari livelli di grigio corrispondono a valori intermedi); quindi con una opportuna scansione siamo in grado di ottenere l'immagine che cercavamo. Abbiamo ora una mappa che riproduce l'emissione osservata, se per questioni estetiche o per migliorarne la lettura vogliamo trasformarla in un'immagine a colori non dobbiamo che associare dei colori alle varie intensità misurate (ovviamente tale compito sarà delegato ad un potente computer). Grazie al confronto fra i dati radio e ottici gli astronomi ottengono importanti dati sulle condizioni fisiche, sul passato e sull'evoluzione degli oggetti celesti.

Piermario Ardizio

GLOSSARIO

cerchiamo di riassumere i termini difficili che abbiamo incontrato, mirando più che al rigore scientifico, a renderne comprensibile il significato.

AMPIEZZA: è il massimo valore raggiunto in un ciclo completo dalla perturbazione che causa l'onda, è uno dei parametri che caratterizzano il segnale.

BATTIMENTO: è il risultato dell'interferenza di due segnali sinusoidali di frequenza diversa. La sua ampiezza corrisponde alla somma delle ampiezze e la frequenza è pari alla somma o alla differenza delle frequenze.

CORRELATORI: i correlatori usati in radioastronomia sono degli analizzatori multicanale (fino a 1.000 canali) che campionano il segnale e selezionano il canale di ascolto.

DIAFONIA : disturbo causato in un circuito dalla presenza di un segnale che transita in un conduttore che corre parallelo al primo.

DIPOLO: è l'elemento sensibile dell'antenna, dove viene raccolto il segnale proveniente dal cosmo.

DISTORSIONE: è un'alterazione nella forma d'onda del segnale.

DISTURBO: un evento imprevedibile e transitorio, generalmente legato a fenomeni che accadono nelle immediate vicinanze.

ENERGIA: è la capacità di compiere lavoro, ovvero la quantità di potenza utilizzata nell'unità di tempo: matematicamente parlando $E=P*t$

FALSI COLORI: i nostri occhi percepiscono i colori reali delle cose, tali colori dipendono dall'illuminazione presente e dal tipo di oggetto. In ogni caso questi colori ci permettono di capirne meglio la struttura e la natura, per questo in molti campi si ricorre ad una codifica in falsi colori per meglio evidenziare le varie caratteristiche di un'immagine. Nelle radioimmagini è molto importante questa codifica perchè mette in risalto zone con la stessa emissione o le stesse caratteristiche nel caso del telerilevamento.

FREQUENZA: è il numero di periodi al secondo completati dalla grandezza variabile considerata.

GUIDA D'ONDA: sono cavità che permettono alla lunghezze d'onda molto corte di propagarsi al loro interno con perdite molto limitate, è un sistema bidirezionale ovvero: segnali diversi possono propagarsi contemporaneamente nelle due direzioni all'interno della guida.

INTERFERENZA: è l'interazione di due segnali (o due onde) tra loro, che possono rinforzarsi o annullarsi reciprocamente a seconda se arrivano in fase (ovvero i massimi coincidono) oppure con un certo sfasamento (i massimi non sono più coincidenti, caso estremo se il massimo dell'uno coincide con il minimo dell'altro, allora si cancelleranno a vicenda).

INTERFEROMETRO COMPOSTO: è formato da molte piccole antenne ed una sola grande antenna molto direttiva. Dopo aver sommato il segnale proveniente da entrambi i sistemi di antenna, otterremo un'unico segnale rafforzato dove saranno presenti solo le sorgenti viste da entrambi (occorre ricordare la presenza in ciascuna antenna di più lobi secondari).

INTERFEROMETRO MULTIPLIO: è composto da più antenne non direttive uguali e ugualmente spaziate tra loro, in modo che in segnali, arrivando in fase, si sommino originando un unico segnale più forte.

LARGHEZZA DI BANDA: L'estensione della finestra radio entro la quale può lavorare lo strumento in base alla configurazione adottata.

NRAO: Il *National Radio Astronomy Observatory* è una struttura della National Science Foundation gestita in collaborazione con la Associated Universities, Inc. (una organizzazione per la ricerca non a scopo di lucro). L'NRAO mette a disposizione della comunità scientifica radiotelescopi che implementano lo stato dell'arte tecnologico del settore. All'organizzazione si deve la progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione di tutti i suddetti impianti, poi usati dagli scienziati di tutto il mondo. Le loro ricerche spaziano dai pianeti e comete del sistema solare fino a Quasar e galassie poste ai confini dell'universo conosciuto.

ONDA: perturbazione periodica continua o transitoria che si propaga in un mezzo, può essere luminosa, sonora, elettromagnetica...etc.

POLARIZZAZIONE: è l'orientamento dell'onda nello spazio, normalmente l'orientamento è casuale, mentre in date circostanze l'orientamento assume una ben precisa direzione, si dice in questo caso che l'onda è polarizzata.

POTENZA: è il rapporto tra l'energia e il tempo in cui viene fornita, ovvero la rapidità con cui l'energia viene trasformata.

POTERE RISOLUTIVO: ovvero la capacità di separare due oggetti molto vicini, essa è inversamente proporzionale al diametro della parabola.

RADIOIMMAGINE: per creare una radioimmagine della zona esplorata si associa ad un dato colore un ben preciso valore dell'intensità del flusso in arrivo, oppure si stabilisce una data gamma di valori di intensità luminosa dove al valore minimo si fa corrispondere il nero, mentre il valore massimo lo si associa al bianco, ai valori intermedi si fa corrispondere le varie tonalità di grigio.

RICEVITORE MULTICANALE: si tratta di un tipo di ricevitore nel quale i canali sono impostati su una ben precisa frequenza e il passaggio da un canale all'altro avviene in modo molto rapido. In pratica possiamo trovarne un esempio nei vecchi televisori, dove il ricevitore VHF era del tipo multicanale (si commutava da A-RAI1 a B-Svizzera etc...), mentre il gruppo UHF era del tipo a selezione continua: ovvero si ruotava la manopola fino a sintonizzare il canale prescelto.

RUMORE: fenomeno casuale ma continuo, dovuto a varie cause (termiche, imperfezioni dei collegamenti, terminazioni non collegate....), a volte è prevedibile e quindi può essere facilmente eliminato.

SENSIBILITA': ovvero il più debole segnale percepibile dall'apparato, è direttamente proporzionale all'area effettiva di raccolta del segnale.

SINTESI DI APERTURA: montando un sistema di antenne sullo Shuttle (o su di un aereo) e sfruttandone il movimento viene sintetizzata una superficie dell'antenna maggiore di quella reale, si

ottiene così un'ottima risoluzione, quest'ultima dipende infatti dalle dimensioni dell'antenna. Viene usata anche in radioastronomia per sintetizzare dei radiotelescopi di dimensioni maggiori.

SPOSTAMENTO DOPPLER: anche noto come effetto Doppler è il fenomeno per cui la frequenza che si propaga dipende dalla velocità relativa tra sorgente e osservatore. In particolare, nel caso consideriamo delle linee spettrali, se la sorgente si allontana avremo uno spostamento verso il rosso (ovvero diminuisce la lunghezza d'onda, quindi aumenta la frequenza: lo si sperimenta anche con il suono di una sirena che sembra più acuto in avvicinamento e più greve in allontanamento), viceversa si sposteranno verso il blu se si avvicina.