

Quasar, scontro finale

Alberto Bolognesi

Poiché l'universo ci é sostanzialmente ignoto, le grandi scoperte astronomiche sono spesso fortunate.

I quasar vennero localizzati come controparti ottiche di sorgenti radio che erano state catalogate precedentemente dai radioastronomi di Cambridge. Furono i ricercatori di Monte Palomar e del Politecnico della California ad osservarli per primi: al telescopio apparivano generalmente come deboli stelle blu, di aspetto puntiforme e di luminosità variabile, caratterizzate da un eccesso di emissione ultravioletta ed infrarossa. A causa dell'intensa attività radio che manifestavano, venne coniato il termine "quasi stellar radio sources" abbreviato subito in *quasar* o in QSO.

L'emissione hertziana é stata attribuita come per le radiogalassie alla *radiazione di sincrotrone*, cioè a quella radiazione emessa su una stretta banda di lunghezza d'onda da particelle che si muovono a velocità prossime a quella della luce in un potente campo magnetico.

Ciò richiede alte temperature ed eventi energetici complessi, sul genere di quelli che devono originarsi nei nuclei di galassie attive (le cosiddette *Seyfert*) o di altre molto disturbate, come ad esempio la radiogalassia ellittica NGC 5128 (nota anche come Centaurus A), il sistema binario Cygnus A, o la gigantesca M 87, caratterizzata da un sorprendente getto rettilineo di materia espulsa ad altissima velocità.

Anche il centro della nostra galassia emette radioonde: la sorgente Sagittarius A é infatti una delle più potenti di tutto il cielo, anche se ciò, ovviamente, é determinato dalla sua vicinanza. Se Sagittarius A fosse alla distanza delle altre galassie, la sua emissione sarebbe invece molto debole, così come deboli risultano le emissioni di M 31 in Andromeda o M 33 nel Triangolo, che pure sono galassie molto vicine alla nostra.

La proprietà degli oggetti astronomici di emettere in bande radio potrebbe apparire a prima vista abbastanza comune: il Sole, moltissime stelle e perfino alcuni pianeti possono risultare radioemittenti, ma quando il calcolo della distanza implica potenze di 10^{35} KW (Cygnus A), dobbiamo riferirci a irraggiamenti superiori ad ogni immaginazione, equivalenti ad un milione di volte quello prodotto dalla nostra Galassia.

In un primo momento si pensò che i quasar fossero stelle peculiari con radioemissione particolarmente elevata, ma questa possibilità venne abbandonata non appena si riuscì ad effettuare la lettura dei loro spostamenti verso il rosso: in questo modo essi divennero rapidamente gli astri favolosi del primo universo, ciascuno capace di liberare potenze equivalenti a quelle di centinaia, di migliaia di grandi galassie.

Si tratta di una storia sempre affascinante da raccontare, ma senza dubbio ancora lontana dalla sua conclusione.

La scoperta

Nel mese di dicembre del 1960, l'astronomo americano Allan Sandage riferì di aver osservato il corrispondente ottico della radiosorgente 3C 48 (denominazione del III catalogo di Cambridge) sulla base delle indicazioni fornitegli dal collega Thomas Matthews: costui si serviva degli interferometri di Owens Valley, due parabole di 30 metri distanti fra loro meno di un quarto di miglio.

Allo "Hale" di Monte Palomar l'oggetto apparve puntiforme, con diametro angolare apparente minore di 1" d'arco: il suo splendore raggiungeva la sedicesima magnitudine, cioè qualcosa come diecimila volte più debole del più debole oggetto visibile ad occhio nudo.

Sebbene i radioastronomi non abbiano mai nascosto l'opinione che i loro strumenti vedano molto più in profondità di quelli ottici, Sandage era stupito che una stellina dall'apparenza così insignificante fosse in grado di produrre un'emissione tanto intensa. Ciò lo indusse a prenderne lo spettro, i cui dettagli però non sembravano corrispondere ad alcun elemento chimico noto della materia stellare. Poco tempo dopo il suo collega, Jesse Greenstein, identificava come quasar le radiosorgenti 3C 147, 3C 196 e 3C 286, i cui spettri erano solcati dalle stesse, misteriose righe di emissione.

Fu l'astronomo olandese Maarten Schmidt che agli inizi del 1963 riuscì a decifrare il mistero delle transizioni quantiche sconosciute: egli si rese conto che si potevano leggere i dettagli di quegli spettri semplicemente attribuendo loro degli spostamenti verso le grandi lunghezze d'onda, come già si faceva con quelli delle galassie.

Osservando le righe di emissione di 3C 273, riconobbe facilmente quelle dell'idrogeno (serie di Balmer) e calcolò che apparivano spostate dalla posizione tipica verso l'estremo rosso, esattamente del 15,8%. In altri termini, era sufficiente moltiplicare la lunghezza d'onda di un elemento per 1.158 per ritrovarla nella posizione occupata dallo spettro di 3C 273: per esempio, la seconda riga di Balmer che si trova normalmente nella regione blu a 4861 angstrom, veniva a trovarsi nel giallo a 5632 angstrom.

Adottando lo stesso criterio di Schmidt, J. Greenstein analizzò lo spettro del quasar 3C 48 scoperto da Matthews e Sandage, che mostrò uno spostamento altissimo per quei tempi: $z = 0,367$. E poi fu la volta di 3C 212, di 3C 196, 3C 280, 3C 286... Nel 1965 erano già noti più di 40 quasar, e gli astronomi misuravano con stupore spostamenti verso il rosso che nell'interpretazione Doppler implicavano velocità di allontanamento di oltre 100.000 km/s.

Non era facile immaginare, oggetti che sfrecciano nel cosmo a velocità equivalenti ad un terzo di quella della luce, nè tantomeno quale potesse essere la causa capace di imprimere velocità tanto elevate. Sandage e J. Luyten avevano frattanto identificato un certo numero di oggetti dalle caratteristiche ottiche e spettrali affini a quelle dei quasar: furono chiamati temporaneamente "intrusi" (interlopers) fino a che non divenne chiaro che si trattava in buona parte di quasar dotati di bassissima radioemissione od addirittura radioquieti.

Gli astronomi dilettanti conoscono almeno quanto i loro colleghi professionisti le difficoltà di procurarsi spettri utilizzabili da sorgenti luminose particolarmente deboli: la casistica di rilevazioni spettrali ripetute con esiti differenti è piuttosto abbondante, ed inoltre l'identificazione di due sole righe non è sempre sufficiente a determinare la lettura: in questi casi gli spettroscopisti parlano di "redshift preliminari", sulla cui affidabilità è bene invocare almeno il beneficio del dubbio.

Ma il 1965 doveva ancora finire di scuotere la comunità scientifica. Il merito fu ancora di Maarten Schmidt, che ricavò dalla radiosorgente 3C 9 (da tempo classificata come stellina blu d'alone galattico, di magnitudine apparente 18,2) lo spostamento verso il rosso $z = 2,012$, valore che per la cinematica classica equivale ad oltre 600.000 km/s, due volte la velocità della luce. Per difendere l'interpretazione che il redshift dei quasar è di origine esclusivamente cosmologica, e cioè indica una velocità di allontanamento determinata dall'espansione dell'Universo, si è posto l'accento sul correttivo di estrazione relativistica, per il quale ogni velocità, approssimandosi a quella della luce, diviene necessariamente asintotica, e quindi non è in grado di raggiungerla mai (fig. 1).

Nulla da ridire, ma ciò non spiega affatto perché la natura si esibisca in eccessi così ingiustificati dal momento che non c'è violazione: dopo un imbarazzato silenzio, alcuni fisici cominciano finalmente a domandare ai cosmologi perché questa Natura debba delegare alle formule della Relatività ristretta il compito di disciplinare le proprie intemperanze, e non si curi essa stessa di contenere asintoticamente le lunghezze d'onda degli elementi...

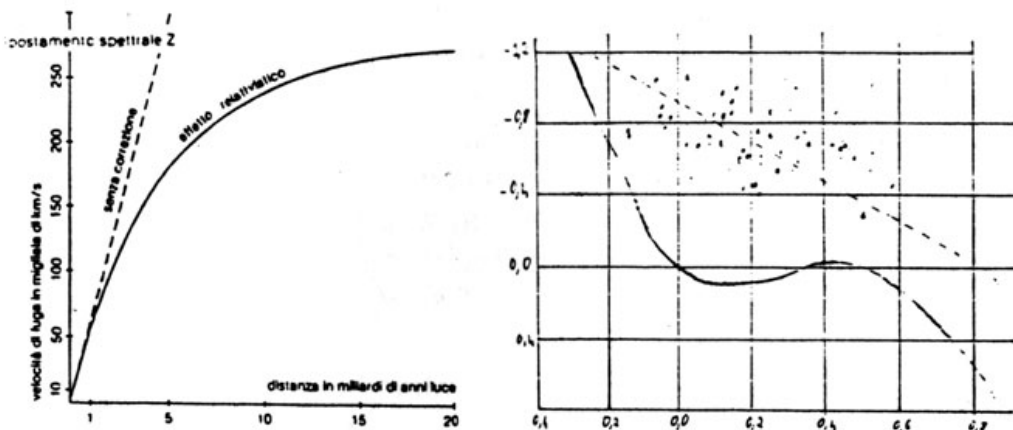


Fig. 1) a sinistra: Schematizzazione convenzionale per redshift superiori a $z = 1$. Il correttivo relativistico consente di curvare asintoticamente la velocità di fuga senza mai permettere il superamento della velocità della luce, ma non spiega l'esistenza di spostamenti verso il rosso con valori fino a $z = 5$ (per la cinematica classica cinque volte la velocità della luce).

Fig. 2) a destra: Diagramma U-B B-V. Collocazione dei quasar nell'indice di colore.

Attualmente si conoscono quasar con righe spostate del 500% ($z = 4,897$, QSO PC 1247 + 3406, in Canes Venatici), e sarebbe interessante conoscere il parere del gruppo cosmologico a proposito degli spostamenti verso il blu che in linea teorica ci si dovrebbe attendere da oggetti in avvicinamento radiale a

velocità paragonabili a quelle dei quasar: questo inquietante capitolo di spettroscopia teorica attende ancora di essere scritto!

Cenni sulla radiazione ottica e sulla radioemissione. Gli spostamenti multipli verso il rosso.

Lo spettro ottico dei quasar presenta caratteristiche molto particolari che riguardano sia il fondo continuo, sia le righe di emissione. Continuo e righe non provengono dalla stessa regione dell'oggetto, perché mentre il primo è variabile nel tempo, l'intensità delle righe di emissione appare costante o quantomeno non varia in corrispondenza.

A differenza delle stelle comuni, il continuo dei quasar presenta una forte emissione nell'infrarosso e nel blu-violetto, per cui tali oggetti hanno generalmente una colorazione bluastra che li colloca in una regione del tutto particolare (fig. 2), al di sopra della linea di corpo nero, in un indice di colore $U-B = -0,8$ dove sono situate anche le nane bianche.

Caratteristica è la grande variabilità nel continuo, cioè nel nucleo, mentre la zona dove si producono le righe appare assai più stabile e fa pensare ad una regione dove la densità della materia è molto bassa. Sono presenti infatti molte righe *proibite* che fanno pensare a gas estremamente rarefatti; le righe proibite sono quasi sempre molto strette, mentre quelle *permesse* appaiono in genere piuttosto larghe e, talvolta, convivono entrambe in un unico soggetto.

Le variazioni di magnitudine, spesso prodigiose, hanno consentito di stimare le dimensioni di alcuni quasar, che nei casi più estremi, raggiungono, a malapena, diametri di qualche ora luce. Molti di essi, quindi, sono equiparabili per dimensioni alle stelle supergiganti. Si tratta allora di oggetti enormemente più piccoli delle galassie, le cui luminosità intrinseche dipendono dalla corretta determinazione della loro lontananza.

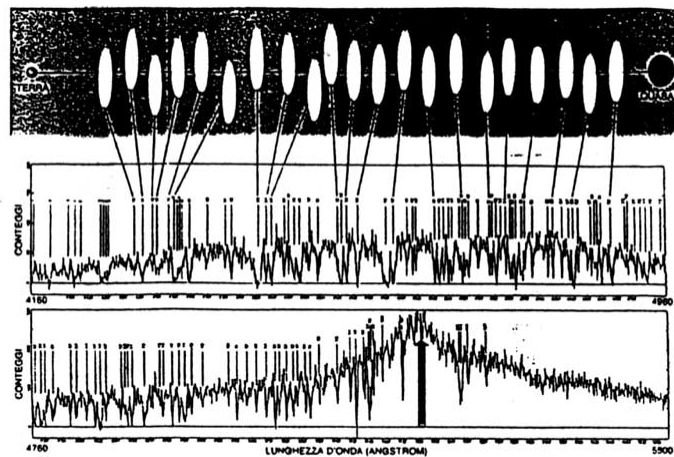


Fig. 3) Spettro ad alta risoluzione del quasar PKS 2126-158, ottenuto da Paul Young nel 1979, che mostra 77 righe di assorbimento con redshift differenti. La parte superiore visualizza l'ipotesi estrema che fra la terra ed il quasar si trovino allineate 77 nubi (!) di idrogeno neutro.

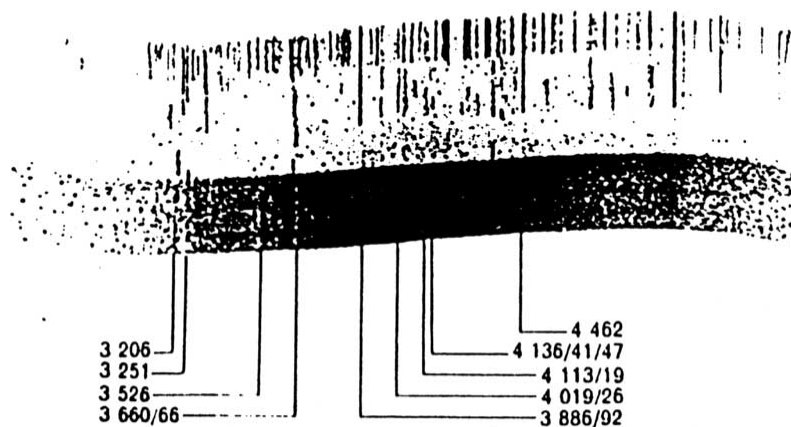


Fig. 4) Spettro di assorbimento del quasar PKS 0237-23. Sono presenti centinaia di righe con spostamenti verso il rosso molto diversi da quello unico di emissione, e diversi da riga a riga.

Se i quasar si trovano alla distanza implicata dal loro spostamento verso il rosso, l'oggetto HS 1946+7658, scoperto nel 1993, con magnitudine apparente 15.85 e redshift $z = 3,02$, è collocabile ad almeno 12 miliardi di anni luce, ed ha una luminosità assoluta equivalente a quasi due milioni di miliardi di stelle come il nostro Sole. E se questo non sconfigge la ragione, di certo supera l'immaginazione.

Ancora, nello spettro di numerosi quasar sono presenti anche le righe di assorbimento. Queste sono generalmente meno allargate e meglio definite di quelle di emissione: il loro numero varia da oggetto ad oggetto, ed in alcuni casi se ne contano a centinaia. Ma il fatto più straordinario e sconvolgente è che il loro spostamento verso il rosso risulta quasi sempre diverso da quello ricavato dallo spettro in emissione: *per alcuni oggetti, poi, varia addirittura da riga a riga!*

Il quasar PKS 2126-158, con le sue 77 righe di assorbimento a lunghezza d'onda inferiori alla riga Lyman a dell'idrogeno (figg. 3 e 4), lascia ai cosmologi l'ipotesi disperata di un allineamento accidentale di 77 nubi di idrogeno neutro lungo la linea di vista che ci porta al quasar stesso, nubi che salirebbero addirittura a centinaia per PKS 0237-23 (fig. 4) e che nel caso del quasar UM 673 dovrebbero avere ciascuna le dimensioni di di una grande galassia. Niente male per un allineamento accidentale...

C'è poi la questione dell'assenza di correlazione tra lo spostamento verso il rosso e la magnitudine dei quasar. Un tipico diagramma di Hubble applicato a questi oggetti è quello della fig. 5, che mostra in modo inequivocabile la mancanza di una relazione definita fra le due quantità. Questa dispersione è perfino aumentata con la scoperta di nuovi quasar, se si eccettua una lieve tendenza degli oggetti ad apparire più deboli con il crescere dello spostamento verso il rosso. Si tratta di un altro fortissimo elemento a favore di effetti spettrali non dovuti a velocità.

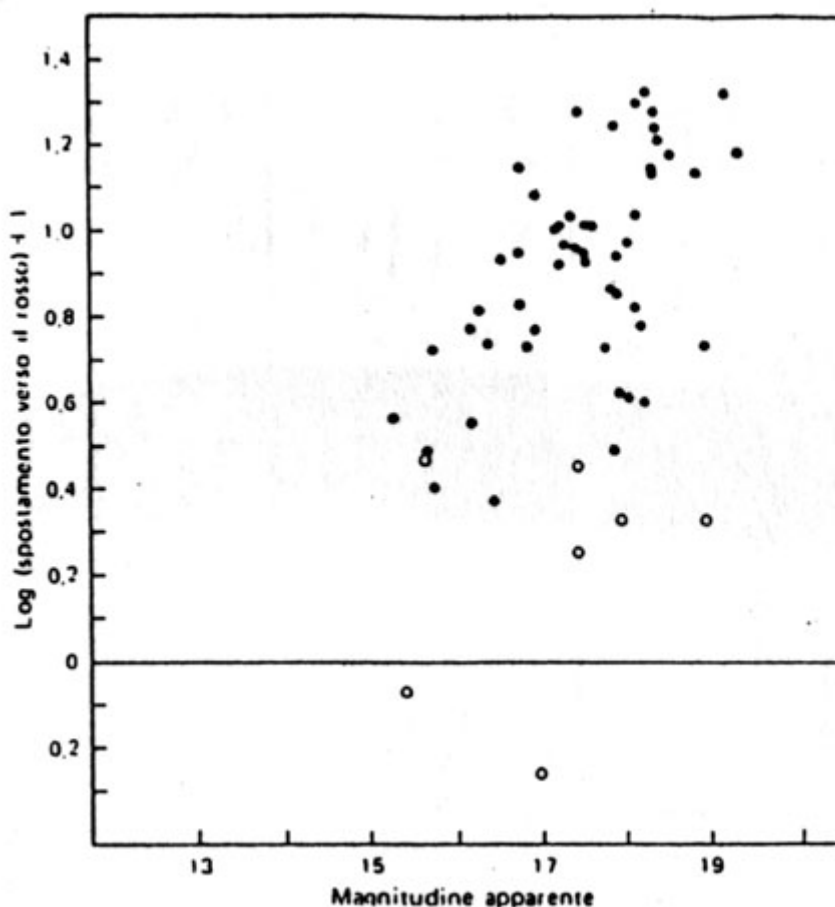
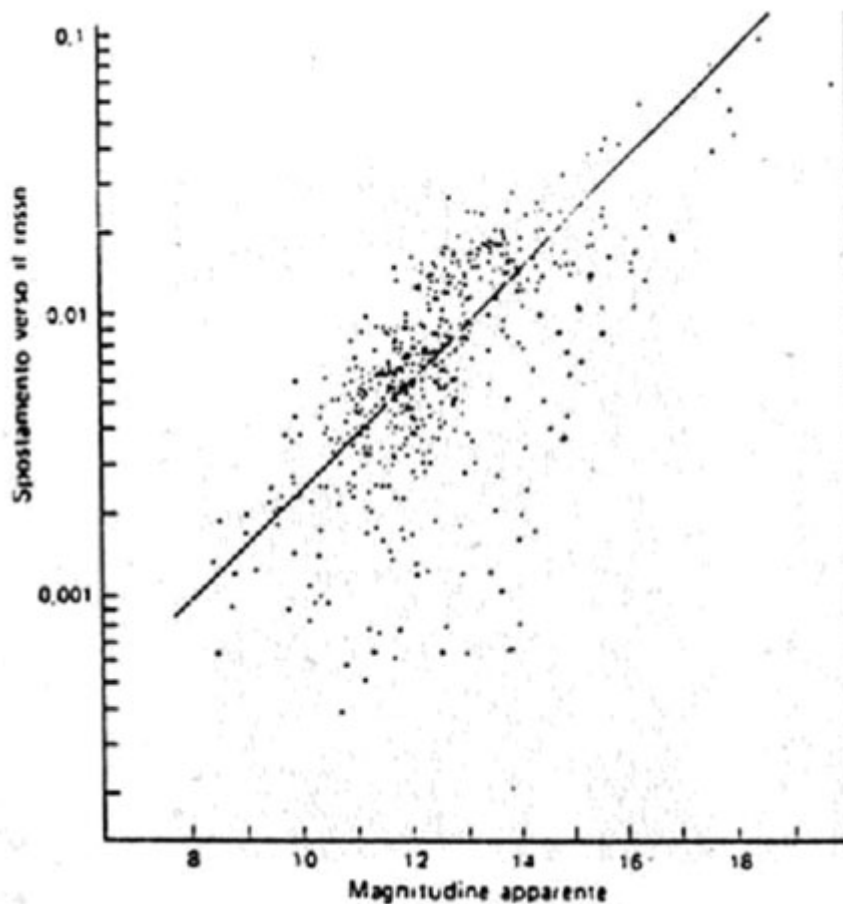


Fig. 5). Disposizione grafica dei quasar sul diagramma di Hubble da cui si deduce la grande dispersione dei dati che quindi non confermano la relazione tra magnitudine apparente (ascisse) e spostamento verso il rosso (ordinate).

Cenni sulla radioemissione. I quasar più veloci della luce

La radioemissione dei quasar, che pareva coincidere con la radiazione luminosa caratterizzata da diametri angolari molto piccoli, inferiori al secondo d'arco, si è arricchita tramite la radio-interferometria di numerosi esempi in cui la regione emittente si protende a grandi distanze, presentando di norma due lobi, o regioni, che si estendono per milioni di anni luce a guisa di occhiali giganteschi. Queste configurazioni radio, tipiche anche di molte galassie, possono arrivare sino a quattro o più lobi, oppure essere uniche, e vengono attribuite dagli astrofisici a fasci di particelle e plasma che si proiettano dal nucleo in direzioni opposte e simmetriche, attraverso il meccanismo detto di sincrotrone.

Non è stato possibile evidenziare alcuna relazione diretta fra lo spostamento verso il rosso ed il flusso radio dei quasar: al contrario, la ricerca astronomica ha mostrato numerosissimi quasar radioquieti che sono variabili in ottico, mentre non risulta sia stato fatto alcuno studio sistematico approfondito sulla costanza dello spostamento spettrale dei quasar variabili in ottico o in radioemissione. Verifiche del genere verrebbero probabilmente definite *di frontiera* dal gruppo cosmologico, se non addirittura prive di significato.



Il problema concettuale è legato all'espulsione di plasma attraverso le cosiddette emissioni di sincrotrone. Come facciano questi fasci ad essere ben collimati, cioè in pratica *a ricordare* la direzione in cui sono stati emessi senza allargarsi nè disperdersi nello spazio, resta un mistero, così come irrisolto è il meccanismo energetico che dovrebbe pompare nel fascio le particelle, impartendogli velocità prossime a quelle della luce. Infine c'è la drammatica necessità dei teorici di precisare cosa accade quando finalmente il fascio relativistico arriva ad una certa distanza dal quasar e si trasforma in ciò che chiamiamo *lobo esteso*.

Verso la fine del 1972, i radioastronomi americani che da tempo tenevano d'occhio la galassia di Seyfert 3C 120, originariamente classificata come quasar, fecero la sensazionale scoperta che la sua configurazione radio diventava più grande. Una mappa particolareggiata, realizzata nel corso di due anni

di osservazioni, mostrava che i suoi contorni si espandevano con velocità sei volte superiore a quella della luce, se l'oggetto si trovava alla distanza del suo spostamento verso il rosso.

Poiché, nonostante lo stupore, nessuno si sentiva di tirare in ballo la costante di Hubble e tutta la cornice cosmologica, i teorici si misero al lavoro per tentare di spiegare come 3C 120 potesse contravvenire così platealmente all'assioma fondamentale della Relatività ristretta. Dopo mesi di panico, l'inglese Martin Rees mostrò che se un getto relativistico di plasma è diretto quasi esattamente verso l'osservatore (l'angolo deve essere inferiore a 12°), ciò può determinare l'illusione di un'espansione trasversale a velocità maggiori della luce. La razionalizzazione fu salutata con grande entusiasmo dal gruppo cosmologico, nonostante che l'allineamento teorico richiedesse una tale angolazione da apparire altamente improbabile come fatto accidentale. Alcuni astronomi avvertirono che esisteva solo una possibilità su mille, mentre i fisici non nascosero la loro perplessità nell'ammettere particelle pesanti espulse a velocità prossime a quelle della luce.

Poco tempo dopo apparvero minacciosi altri tre casi di espansione *superluminare*: 3C 345 (sette volte la velocità della luce), la *vecchia conoscenza* 3C 273 (dieci volte la velocità della luce) e 3C 279 (diciannove volte la velocità della luce)... Sembrava davvero incredibile che l'allineamento lungo la nostra linea di vista avesse colpito tutte e tre le volte proprio la classe dei quasar, già celebri per le loro righe spostate verso il rosso di un fattore 5 rispetto a $c = 1$.

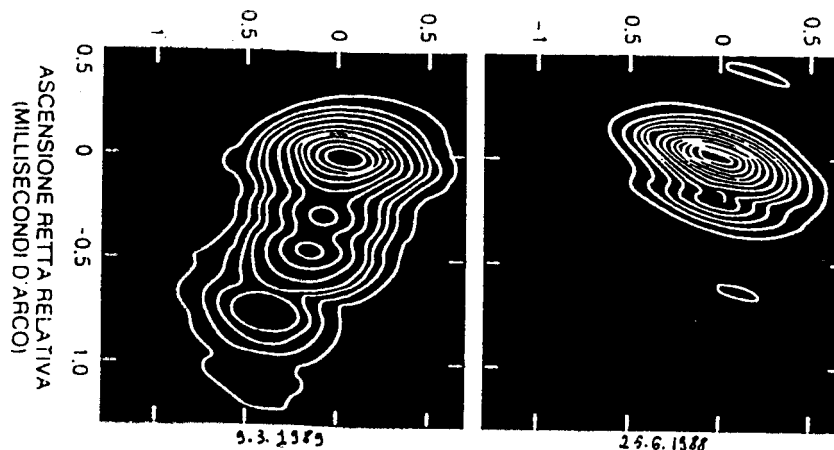


Fig. 7). Immagini radio del quasar 3C 273 prese nel 1988 e nel 1989 da T. Krichbaum del Max Planck Institut fur Radioastronomie di Monaco di Baviera. La velocità di formazione della struttura radio ricavata in base alla distanza di redshift del quasar 3C 273 risulta essere di circa 10 volte quella della luce.

La cosa più straordinaria è che niente sembra aver intaccato l'opinione cosmologica che tutti questi oggetti si trovano realmente alle distanze date dai loro redshift: c'è un accumulo di coincidenze inquietanti in questi getti di plasma puntati come dita accusatrici verso la Terra. Se i redshift dei quasar fossero anche solo parzialmente intrinseci, cioè non dovuti a velocità, queste espansioni *superlumini* e gli abnormi spostamenti verso le grandi lunghezze d'onda potrebbero essere ricondotti, con il ridimensionamento delle distanze, a moti assolutamente consueti per oggetti astronomici.

Collocazione spaziale dei quasar

L'interpretazione cinematica del redshift richiede che i quasar si trovino ai limiti estremi dell'universo osservabile.

Con uno spostamento $z = 0,158$, il quasar 3C 273 presenterebbe una velocità di allontanamento radiale pari al 18,8% della velocità della luce, cioè 47,400 km/s. Applicando una costante di Hubble $H_0 = 50$ chilometri al secondo per Megaparsec (3.260.000 anni luce), si può determinarne la distanza, cioè $47,400:50=948$ Megaparsec, in pratica 3 miliardi di anni luce. Considerando che si conoscono quasar con redshift prossimi a $z = 5$, si arriva a velocità di recessione dell'ordine del 95% della velocità della luce (285.000 km/s), quindi a distanze vicinissime all'orizzonte teorico del big bang, a 20 miliardi di anni luce.

Naturalmente non è facile immaginare oggetti di dimensioni pressoché stellari in grado di produrre energie paragonabili a quelle di migliaia di galassie giganti che hanno invece diametri di almeno 100.000 anni luce. Si avrebbe insomma un nucleo brillantissimo di dimensioni confrontabili con quelle del nostro sistema solare, capace di emettere in modo notevolmente diverso da un corpo nero su un intervallo di

lunghezze d'onda tanto maggiore; un nocciolo che dovrebbe essere in grado di variare, anche nel giro di poche ore, quantità di radiazioni corrispondenti a quelle prodotte da miliardi di stelle...

Questi dati dovrebbero costituire la più ragionevole obiezione all'interpretazione canonica del redshift dei quasar, ed invece hanno fornito lo stimolo all'immaginazione teorica più spinta. Alcuni ricorrono all'annichilazione materia-antimateria od a collassi a catena di stelle massicce, altri ad un *amalgama di supernovae*, a pulsar giganti, e perfino a collisioni di buchi neri supermassicci. Una cosa è certa: l'energia di fusione termonucleare come noi la conosciamo, è del tutto insufficiente quando si tratta di produrre potenze di emissione dell'ordine di almeno 10^{37} KW.

Attualmente sono note alcune migliaia di quasar ma si ritiene che almeno dieci milioni di questi oggetti dovrebbero trovarsi *immortalati* nelle lastre della Sky Palomar Survey. Vi sono fortissimi scostamenti osservativi dall'incremento numerico che ci si dovrebbe attendere con il crescere della magnitudine, cioè al diminuire della loro luminosità apparente²: nell'ipotesi che i quasar siano distribuiti uniformemente nel lontano universo, il loro numero dovrebbe salire molto più rapidamente secondo il modello in espansione. *L'esplosione* di un fondo luminoso del cielo sembrerebbe così ritorcersi sugli stessi sostenitori del paradosso di Olbers ma l'autogol viene evitato ipotizzando che al di là di una certa distanza i quasar cessino semplicemente di esistere.

Un'altra notevole obiezione al punto di vista convenzionale è l'assenza di qualsiasi indizio osservativo di ammassi deboli, ricchi di galassie, disposti attorno a più lontani quasar non compresi in quello spostamento verso il rosso, come sarebbe invece lecito attendersi in base alla prospettiva ed allo schema evolutivo del big bang.

Sul piano puramente deduttivo sembrano possibili tre linee di ipotesi: la prima, molto debole, è che si tratti di stelle peculiari, il che relegherebbe automaticamente i quasar al dominio della nostra galassia; la seconda, non convenzionale, che si tratti di grumi compatti di materia associati o espulsi da galassie³; la terza, quella cosmologica già delineata, è che siano lontanissime *protogalassie*, dotate di un potenziale energetico che la fisica ordinaria non è in grado di descrivere.

La presenza di anomalie spettrali e di redshift multipli negli spettri di assorbimento può condurre a due possibili scenari non convenzionali:

- il redshift dei quasar esprime la somma di un effetto cosmologico (espansione geometrica dello spazio) e di una causa intrinseca;
- il redshift non ha a che vedere con l'espansione dello spazio, ma solo con l'effetto Doppler-Fizeau classico ed altre componenti sconosciute.

E' sempre sconveniente prendere in considerazione cause *sconosciute*: Maarten Schmidt le chiama *metafisiche*. Notiamo tuttavia che almeno una di queste cause "sconosciute" opera palesemente su un insieme di transizioni energetiche con modalità che non possono essere interamente cinematiche: quindi sappiamo che questo effetto deve essere, almeno in parte, in relazione diretta con lo stato della materia che osserviamo. Cioè insito, connaturato, *intrinseco*: non trascendente, non metafisico. Forse la materia si trova in condizioni così estreme da alterare i meccanismi che regolano le emissioni di radiazione.

Possiamo escludere la natura strettamente locale dei quasar? Sì e no, se questa può essere una risposta. Moti propri apprezzabili sulla sfera celeste non sono mai stati osservati, e poi occorrerebbe smontare una ad una le innumerevoli affinità che l'osservazione ottica e la radioastronomia hanno evidenziato con le radiogalassie, le Seyfert ed altri oggetti extragalattici perturbati.

L'ipotesi che i quasar siano gruppi di materia associati od espulsi da galassie è sotto l'aspetto qualitativo quella che meglio può integrarsi all'esistenza di spostamenti verso il rosso non dovuti a velocità.

E proprio il fatto che non vengano mai osservati "blue shift" ad insinuare l'idea che un meccanismo interno generi spostamenti spettrali verso il rosso così elevati da affogare gli effetti Doppler conseguenti ad eventuali espulsioni orientate verso di noi.

Alla domanda: "Dove sono i quasar del Gruppo Locale?", si può rispondere ipotizzando che alcune radiogalassie con dettagli tipici di redshift siano proprio i quasar che appartengono al nostro sistema. Secondo questo schema interpretativo i quasar più luminosi dovrebbero quindi trovarsi associati alle galassie più luminose (vicine); esattamente quel che Arp e compagni vanno sostenendo da ormai trent'anni.

² FRED HOYLE. A *gravitational model for QSO*, 1983

³ HALTON ARP. GEOFFREY BURBIDGE, FRED HOYLE ed altri.

Coppie e gruppi di quasar

La semplice analisi della distribuzione nel cielo rivela la tendenza dei quasar a mostrarsi in agglomerati, in gruppi e perfino in coppie. Si potrebbe scorgere una analogia con la struttura associativa delle galassie, ma ciò è da ritenersi illusorio perché i quasar entro ciascun "gruppo" hanno spostamenti verso il rosso molto variegati. Secondo i criteri convenzionali dell'interpretazione del redshift, le differenze di velocità (e quindi di distanza) escludono la realtà di queste associazioni e rimandano ad effetti accidentali di prospettiva sul fondo del cielo.

Disgraziatamente l'ipotesi cosmologica comporta allineamenti assolutamente improbabili, perché ciascun *gruppo*, con il proprio intervallo di z rappresenterebbe allora un *cono* allungato di quasar che rivolge sempre la sua punta alla Terra⁴!

Anche la tendenza di questi oggetti ad accoppiarsi è fonte di grave imbarazzo per l'ortodossia: perché ci sono tante coppie di quasar in cielo? Il problema è rappresentato dal fatto che un numero sempre più vasto di oggetti con analoghe proprietà di magnitudine apparente, di caratteristiche radio e di valore di redshift è andato ad arricchire i cataloghi esistenti. Il fatto che si conoscono ormai numerosi quasar molto vicini e con spostamenti verso il rosso molto simili, lascia ai sostenitori delle grandi distanze soltanto *l'effetto lente gravitazionale*, attraverso il quale è possibile ridurre la coppia ad un *single*, sdoppiato come un miraggio da una massa enorme, situata in modo invisibile lungo la nostra linea di vista.

Infatti, quale migliore conferma dell'accoppiamento potrebbe aversi quando i redshift sono praticamente identici? È doveroso ricordare che alcuni casi di quasar binari, annunciati dapprima come lenti gravitazionali di un unico oggetto, sono stati restituiti alla loro duplicità effettiva dopo un'analisi spettroscopica approfondita. Due casi molto recenti, Q 1146 + 111 (B e C) e Q 2126-4350/Q 21264346, hanno recuperato la loro identità di oggetti distinti assieme ad altre sei coppie di quasar che erano state precedentemente annunciate come *candidate lenti*.

Per giustificare questo allarmante eccesso di coppie, quando il redshift è discorde la linea di difesa del punto di vista convenzionale è quella di invocare *effetti di selezione causati da astronomi che cercano quasar radioquieti in prossimità di quasar radioemittenti*. I coniugi Burbidge e S. O'Dell che nel '74 eseguirono ricerche in questa direzione, vennero criticati per aver calcolato le probabilità statistiche degli accoppiamenti sulla base dei *pochi* oggetti che erano già noti in *precedenza*. In altri termini, il risultato era viziato da effetti di selezione di precedenti ricercatori. Undici anni dopo, Burbidge e Narlikar hanno eseguito una nuova ricerca basandosi stavolta su tutte le coppie di quasar con spostamento verso il rosso *discorde* scoperte *dopo* la precedente analisi, ottenendo una probabilità contro diecimila (!) che gli accoppiamenti siano accidentali (cioè di natura prospettica).

Scontro finale. La battaglia sulla statistica e la cosmologia del Duemila

Un'altra evidenza contro l'ipotesi cosmologica dei quasar è l'affollamento di questi oggetti intorno a valori tipici di spostamento verso il rosso. Fin dalla fine degli anni sessanta, il già citato direttore dell'osservatorio di Kitt Peak in Arizona, Geoffrey Burbidge, cominciò a chiedersi perché ci fossero tanti quasar con $z = 1,95$: la fig. 8 riporta una tabella dei valori preferiti di redshift in base ai censimenti effettuati dai coniugi Burbidge, dal Karl Karlsson, e poi da altri ricercatori (Barnothy, Depaquit, Pecker, Vigier...).

$z = 0,30$	$z = 2,64$
$z = 0,60$	$z = 3,47$
$z = 0,96$	$z = 4,49$
$z = 1,41$	
$z = 1,96$	

Fig. 8. Periodicità nei picchi di z dei quasar.

Karlsson trovò che i picchi in z potevano essere riprodotti da una formula $\Delta \log (1 - z) = \text{costante}$, che nella tabella assume il valore $\text{cost.} = 0,089$.

L'effetto venne subito contestato e le analisi furono ridicolizzate dall'establishment cosmologico, per il fatto che singoli gruppi di quasar mostravano valori leggermente diversi. Oggi la *periodicità*

⁴ Vedi: Quasars, Redshifts and Controversies, H. ARP. 1987.

viene riconosciuta anche da buona parte dell'ortodossia, ma, come abbiamo ricordato, dopo queste ricerche Karlsson non riuscì più a trovare lavoro in astronomia e dovette dedicarsi alla medicina.

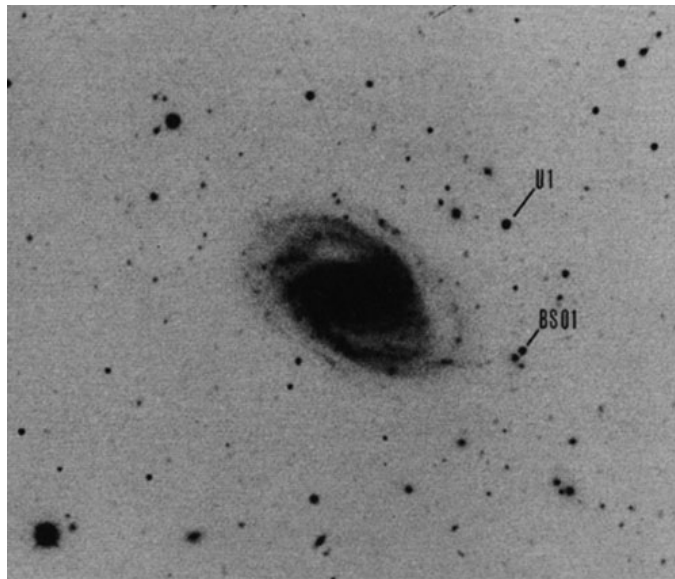


Fig. 9) Due quasar nel campo della galassia NGC 622. La probabilità di trovare per caso due quasar così vicine ad una galassia è meno di 4×10^{-4} (meno di 2×10^{-5} se tien conto del fatto che il quasar U1 è piuttosto luminoso), circa una su cinquecentomila. *Cortesia di H. Arp.*

Il problema della periodicità, e più in generale della quantizzazione dell'intero spostamento verso il rosso, è tuttavia assai lontano dalla sua soluzione. Si può escludere che effetti di selezione siano responsabili delle periodicità osservate, perché le principali righe di emissione possono essere viste per ogni valore di z in ricerche col prisma obiettivo⁵: Arp e Burbidge fanno notare che le concentrazioni intorno al valore di $z = 1$, trovate per quasar selezionati otticamente attorno a galassie compagne ed in gruppi densi di quasar, dimostrano che le tecniche di scoperta fotografica basata sull'eccesso ultravioletto non generano consistenti distorsioni nella distribuzione di z ⁶.

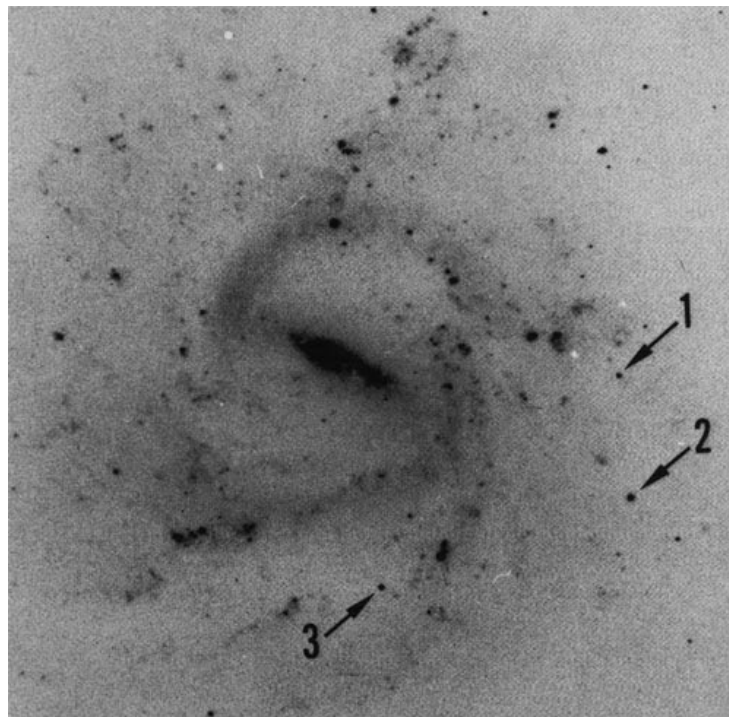


Fig. 10). Tre quasar nei bracci a spirale della galassia NGC 1073 scoperte da H. Arp e J. Sulentic. La probabilità di osservare per caso tre quasar così vicine è meno di una su cinquantamila. *Cortesia di H. Arp.*

⁵ Vetro cuneiforme che produce piccoli spettri di un intero campo in sorgenti luminose.

⁶ H. ARP. *Quasar, Redshift and Controversies*, 1987.

Tuttavia è evidente che singoli gruppi di quasar mostrano costanti leggermente diverse da quella fissata da Karlsson, e cioè esibiscono spaziature appena più grandi o leggermente più piccole. Insomma, la periodicità non scompare, anzi viene ulteriormente confermata, ma conduce ad un allargamento dei valori che deve essere spiegato.

A complicare ulteriormente gli enigmi della periodicità sono le indagini effettuate su quasar al centro dell'ammasso della Vergine da He, Cannon, Peacock, Smith ed Oke⁷. Sembra infatti che intervalli di periodicità più lunghi coincidano con luminosità più alte. Questo risultato è in accordo con l'ipotesi non convenzionale che i quasar siano oggetti piccoli associati a galassie, ma l'alta luminosità dei quasar della Vergine non sembra al momento avere altro motivo che quello di farsi vedere a distanze intergalattiche. Esistono insomma moltissimi problemi e straordinarie opportunità per la ricerca scientifica di determinare, con la cosmogonia dei quasar, alcuni passaggi fondamentali della materia cosmica.

Storicamente, l'idea di una riproduzione della materia tramite espulsione delle galassie è merito dello scienziato armeno Viktor Ambartsumian. Con lo zelo di un biochimico, questo incomprenduto gigante dell'astrofisica ha recepito dall'osservazione dell'universo l'immagine rivoluzionaria di un'autentica "mitosi" delle galassie. Dopo aver osservato le lastre ottenute con lo Schmidt di Monte Palomar dai suoi colleghi occidentali, ribadì nuovamente nel corso della conferenza Solvay del 1958 che le galassie si separano da nuclei originariamente unici, che espellono materia e che si perpetuano in *sempre* nuovi nuclei di *sempre* nuove galassie.

Sulla base di fotografie a migliore risoluzione, il giovane astronomo americano Halton Arp era giunto alle medesime conclusioni: un suo studio sistematico produsse la più sconcertante galleria fotografica di galassie peculiari mai realizzata in astronomia⁸. Arp si rese anche conto che il suo atlante conteneva un'anormale concentrazione di sorgenti radio e di quasar che cadevano vicine ed allineate ad alcune delle galassie più vistosamente disturbate. Considerò le associazioni non accidentali e ne discusse l'evidenza in una conferenza del 1966 al Caltech.

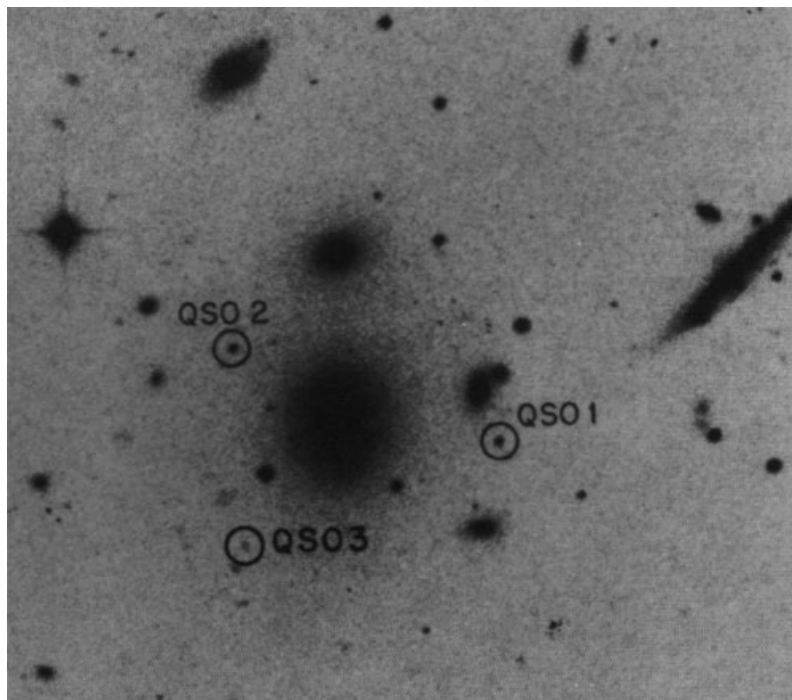


Fig. 11). Tre quasar nel campo di NGC 3842. Qui c'è una possibilità su un milione di trovare per caso tale associazione. Cortesia di H. Arp.

E fu il segnale di guerra, Geoffrey Burbidge ed il suo famoso collega inglese, Sir Fred Hoyle avevano frattanto ultimato uno studio che, riprendendo le tesi di Ambartsumian, assumeva i quasar come oggetti generati da galassie vicine. Poche settimane dopo, la prestigiosa rivista "Nature" pubblicava un articolo di Lynden-Bell, Cannon, Penston e Rothman, che trattava della possibile associazione tra quasar, radiosorgenti

⁷ *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, 1984.

⁸ H. Arp. *Atlas of Peculiar Galaxies*, 1966.

e galassie irregolari. Gli Autori calcolavano che la probabilità di un allineamento prospettico casuale era una contro cento, ma concludevano con un invito *alla massima prudenza*. Qualche anno dopo, ancora Burbidge e Strittmatter analizzarono un gruppo di quasar nei pressi di galassie luminose, e calcolarono una probabilità accidentale inferiore al 5%; e poi ancora Burbidge, Strittmatter e O'Dell, dettero straordinaria evidenza (*Astrophysical Journal*, 175), che i quasar associati nel cielo a galassie più lontane cadevano più vicini a quelle galassie, proprio come se fossero visti a distanza maggiore!

Gli astronomi di credo convenzionale non hanno mai contestato direttamente le associazioni, ma, come vedremo, preferiscono sollevare altre più sofisticate obiezioni.

La ragione sta nel fatto che i quasar con differenti spostamenti verso il rosso debbono cadere nel cielo piuttosto uniformemente, secondo l'ipotesi cosmologica. Data una densità nota, si può sempre calcolare la possibilità di trovare un quasar ad una certa distanza da una galassia. E se questa possibilità è bassa, quella di trovare per caso un secondo o un terzo quasar entro tale separazione spaziale equivarrebbe praticamente alla conferma che tali associazioni non possono essere accidentali (la probabilità accidentale, in questo caso, è data dal prodotto delle due o tre improbabilità relative).

Ebbene, anche questi casi decisivi sono stati trovati ed appaiono nelle eccezionali immagini delle figg. 9, 10 e 11, che concludono la nostra ricognizione. Vi ritorneremo fra un attimo.

Un tentativo molto recente di screditare la statistica delle associazioni e le testimonianze fotografiche prodotte, usa un argomento di *alto livello*: la materia oscura. In tempi in cui la scienza era più rigorosa, la confutazione di dati osservativi tramite entità non rivelate dall'esperienza, avrebbe immediatamente declassato il ricercatore al rango di negromante: ma oggi che la routine al telescopio viene soppiantata dalle simulazioni al computer e dalla realtà virtuale, il limite inferiore della conoscenza sembra stabilito solo dalla scarsa inclinazione all'immaginazione da parte del teorico.

Una prova? Fra il 1992 ed il 1993 gli astronomi L. RodriguesWilliams e C. J. Hogan, dell'Università di Washington, hanno effettuato uno studio sulla distribuzione di quasar con magnitudine apparente inferiore a 18,5, e valori di redshift compresi fra $z = 1,4$ e $z = 2,2$ su varie zone del cielo. Essi hanno trovato che quando c'è un fondo di galassie raccolte in gruppi od in ammassi, i quasar compaiono con una frequenza settanta volte superiore rispetto alla densità media del cielo (!). Questo risultato, imbarazzante solo per chi colloca i quasar ai confini dell'universo, è stato spiegato dai due ricercatori con enormi concentrazioni di materia oscura esistente negli ammassi di galassie, che, combinate ad effetti lente gravitazionali, amplificano la luminosità dei quasar nel lontano sfondo⁹. Insomma: Arp ha ragione solo a causa di un'illusione ottica, perché in fondo i dati osservativi sono essi stessi.... un'illusione ottica.

Imperterriti? Bene. L'argomento che ha fatto più fortuna contro i rinnegati del big bang è quello del "post hoc" (nientemeno!), cioè della statistica a posteriori, e merita un discorso a parte.

Si è fatto argutamente notare che quando Arp o Burbidge fotografano quasar molto vicini a galassie sfidando il punto di vista convenzionale, producono delle semplici coincidenze prospettiche. Essi infatti non riferiscono i casi in cui non trovano le associazioni, ma solo quelli in cui le associazioni appaiono chiaramente e quindi calcolano che se l'impostazione ortodossa fosse quella corretta, ci sarebbero pochissime probabilità di trovare le associazioni osservate. Le associazioni vengono però segnalate da Arp e compagni *dopo* che vengono trovate, e tutti sanno bene (ecco il *coup de teatre* dell'ortodossia) che le probabilità a posteriori di qualsiasi cosa osservabile è minima. Per esempio, anche se quest'articolo che avete sotto gli occhi facesse fortuna, quante sono le probabilità che voi stiate leggendo queste righe proprio adesso, proprio nel luogo dove vi trovate? Pochissime! Eppure, eccovi qui a leggere realmente il problema delle associazioni, vere o presunte, fra i quasar e le galassie.

Qualsiasi studioso di statistica non impegnato in cosmologia, potrebbe storcere il naso. Eppure quest'accusa ha fatto il giro delle cupole astronomiche ed ha fruttato moltissimi consensi all'ortodossia. Arp e Burbidge hanno protestato ribadendo che l'associazione fra quasar e galassie era stata segnalata fin dal 1966, e che ogni successivo esempio è semmai una conferma addizionale di una relazione sostenuta *a priori*. Se in una sera di luna piena fotografiamo una mosca che se ne sta sul vetro di una finestra, e che sembra aggrappata alla superficie della Luna, possiamo essere certi che si tratta di un'illusione. Ma se ad

⁹ Meeting of the American Astronomical Society-Berkeley, Giugno 1993.

ogni luna piena ci capita di fotografare moltissimi altri casi di mosche che se ne stanno allineate sul vetro come se stazionassero realmente sulla superficie lunare, non dedurremo che le mosche abitano sulla Luna, ma che fra la luna piena e le mosche esiste una qualche relazione. Nel caso di quasar e di galassie, la convinzione che non si trovino alla stessa distanza è soltanto ipotizzata. La relazione in questo caso ha fortissime probabilità di coincidere con un legame fisico di questi oggetti.

Ma è tempo di tornare alle immagini delle figg. 10 e 11 che mostrano due casi di tre quasar strettamente raggruppati nel campo di grandi galassie. La probabilità che questi oggetti capitino per caso così vicini attorno ad una galassia è tra 10^{-5} e 10^{-7} per la fig. 11), cioè circa una probabilità su un milione. Sembrerebbe un margine sufficiente per cominciare a scrivere l'ultimo capitolo della storia dei quasar, ed invece siamo costretti ad interromperlo proprio sul più bello. Perché mai?

È necessario essere scarni ma precisi. Arp chiese che i quasar da lui trovati assieme a Jack Sulentic fra i bracci di NGC 1073 (fig. 10) fossero confermati come tali. Alcuni astronomi del Caltech controllarono effettivamente la natura degli oggetti, ma rifiutarono di pubblicare il risultato. La conferma arrivò tuttavia poco dopo da Margaret Burbidge, VT. Junkkarinen e A.T. Koski, dell'università della California.

Le richieste di conferme costarono ad Arp un *avvertimento scritto* da parte del comitato di assegnazione del tempo al telescopio di Monte Palomar, che minacciava di escluderlo dalle osservazioni se non smetteva di dedicarsi a queste ricerche. Per tutta risposta Arp intensificò le sue indagini e si dedicò alla stesura di un rapporto sulle associazioni fra galassie e quasar assieme a Burbidge, Hewitt e Chu Zhu¹⁰.

La prospettiva era affascinante: se i quasar venivano espulsi dai nuclei di galassie attive perpetuando il divenire della materia, era forse possibile sorprendere qualche galassia nell'atto di espellere nuovi quasar e dare così l'ultimo (e definitivo) scossone alla cosmologia del Big Bang? Del resto, come aveva già dimostrato qualche anno prima, assieme allo stesso Sulentic¹¹, i noduli di materia compatta fuoriuscenti dal getto della grande galassia M 87, avevano straordinarie analogie con gli oggetti BL Lacertae, una classe molto particolare di quasar...

Le osservazioni di Halton Arp, per ventinove anni a Monte Palomar, terminarono bruscamente nel 1984. Il comitato gli inviò una lettera in cui si definiva la sua ricerca priva di valore, e gli si notificava la decisione di rifiutargli ogni ulteriore richiesta di tempo al telescopio.

La notizia apparve in prima pagina sul *Los Angeles Time*, fece il giro del mondo scientifico, sollevò mille proteste, poi fatalmente ingiallì: ed i quasar tornarono rapidamente alle loro "distanze di redshift".

Oggi Arp è di ruolo, in una sorta di confino incantato, al Max Planck Institut für Astrophysik di Monaco di Baviera. E lontano dai grandi telescopi che sicuramente gli mancano: ma i suoi quasar sono ancora là, fra i bracci di NGC 1073 od ai margini di NGC 3842, ad attendere qualche nuovo ricercatore temerario, disposto a decidere da solo sulla natura dello spostamento verso il rosso.

¹⁰ *Astronomy and Astrophysics*, n. 138, 1984.

¹¹ ARP e SULENTIC, *Astrophysical Journal*, suppl. 41, 1979.