

**Publicato su "PEGASO" Anno IV n.10 Maggio-Giugno 1993
Rivista dell'Associazione Astronomica Umbra (AAU)**

Sul Red Shift Cosmologico

Alberto Bognesi

A prima vista sembra inesatto dire che il redshift è proporzionale alla distanza: i dati puramente osservativi sono, a stretto rigore, lo spostamento verso il rosso e la magnitudine apparente. Se esiste una legge di natura per cui la luce degli astri lontani risulti sempre più spostata verso il rosso con la distanza, questa dovrebbe essere costantemente verificata proprio attraverso la relazione magnitudine assoluta-redshift.

A dire il vero oggi avremmo molti elementi per sospettare il contrario, in quanto l'osservazione dimostra che sono proprio gli oggetti contraddistinti dai più forti spostamenti spettrali - i quasar - a manifestare un'assenza di correlazione fra il valore di redshift e la loro luminosità. E' estremamente difficile determinare la magnitudine assoluta di una galassia quando questa è molto lontana: la luminosità apparente dipende senza alcun dubbio dalla lontananza dell'oggetto, ma perché tale luminosità possa essere intesa come un preciso indicatore di distanza è necessario introdurre l'ipotesi forzata che le galassie abbiano tutte la medesima magnitudine assoluta in base alla loro classe di appartenenza oltre alle medesime dimensioni. È un po' come se dovessimo determinare, di notte, le proporzioni di una città mediante i suoi oggetti luminescenti (lampade, insegne, fari, fanali,...) assumendo tutte queste sorgenti abbiano la stessa luminosità intrinseca della fila di lampioni che ci sta davanti.

Si deve tener conto inoltre della non istantaneità delle interazioni fisiche: la velocità della luce che nell'analogia con la città notturna è un elemento trascurabile, diventa una questione cruciale a livello cosmico; tanto più lontano spingiamo lo sguardo tanto più "inattuale" è l'aspetto della sorgente che osserviamo, cosicché la nostra valutazione, già gravata da un'ipotesi ad hoc, deve affidarsi all'ulteriore presupposto che l'intensità luminosa delle galassie si mantenga inalterata lungo intervalli di tempo di miliardi di anni.

Il redshift inteso come velocità di recessione produce poi un duplice, intrinseco smorzamento delle luminosità: poiché l'intervallo fra due creste d'onda risulta dilatato, viene diminuita la frequenza e con essa, naturalmente, l'energia, secondo la ben nota formula di Planck

$$Energia = Costante di Planck \times Frequenza$$

L'abbassamento di frequenza determina una diminuzione delle onde nell'unità di tempo, diminuzione che si traduce in una ulteriore perdita dell'energia ricevuta.

L'idea originaria di Edwin Hubble si basava, come noto, sulla stimolante possibilità di determinare la distanza degli oggetti remoti proprio attraverso l'incremento di questo spostamento: basandosi sull'osservazione di 18 galassie tipiche stimò le magnitudini assolute confrontandole con lo

spostamento spettrale che presentavano. Come Hubble poté individuare questa "relazione lineare" fin dal 1929 è uno dei tanti misteri di cui è costellata la storia dell'astronomia: i dati si riferivano a 46 spettri ed a 18 distanze di galassie tutte troppo vicine, nessuna di esse trovandosi oltre l'ammasso della Vergine. E' chiaro che non dovremo aspettarci alcuna proporzionalità di spostamento per queste galassie: tuttavia l'enorme mole di lavoro svolta dagli spettroscopisti negli anni successivi documentò costantemente questa progressione, almeno in funzione con la diminuzione della luminosità apparente (cioè con l'aumento della magnitudine apparente). Che poi lo spostamento verso il rosso traesse origine da un movimento di recessione delle galassie o che esprimesse un processo universale di consumo dell'energia dei fotoni, era una discussione che in ogni caso non avrebbe infirmato la possibilità di misurare l'universo visibile. Alla luce delle più recenti scoperte astronomiche non c'è dubbio però che la domanda debba essere riformulata in questi termini: *lo spostamento spettrale segue la legge di Hubble?*

E' noto che interpretando l'abbassamento di frequenza delle sorgenti lontane come un effetto Doppler, si giunge alla conclusione che queste debbano recedere le une dalle altre in misura proporzionale alla distanza che le separa. Si tratta di un effetto del tutto particolare: ricordiamo, proprio perché nessuno lo fa mai, che l'effetto Doppler-Fizeau classico non ha alcun rapporto con la distanza; tuttavia qualsiasi dilettante può riconoscere senza difficoltà il sorprendente scivolamento di questi spettri verso le grandi lunghezze d'onda. Le stesse righe stazionarie H e K del Calcio, che negli spettri stellari non partecipano al moto radiale, qui risultano completamente ribaltate all'estremo opposto.

In realtà noi non osserviamo galassie che sfrecciano a velocità crescenti: questo allontanamento viene invece attribuito alla modificazione stessa dello spazio, o meglio alla sua dilatazione. Poiché questa dilatazione non interessa né i processi della materia né la struttura delle galassie (e a quanto pare nemmeno gli ammassi di galassie), è necessario riferirla a un effetto di scala per il quale sono le distanze cosmiche ad aumentare in relazione allo stato della materia: così si deve precisare che non sono le galassie a muoversi o a fuggire verso un iperspazio, ma che è lo spazio stesso a trascinarle sempre più lontane le une dalle altre.

Questa rappresentazione implica delle difficoltà anche epistemologiche di ardua risoluzione, in quanto dalla comune esperienza si è portati più facilmente a pensare che il vuoto, e comunque lo spazio metrico, sia un concetto del tutto astratto se viene trattato indipendentemente dalla materia (1).

E' questo anche il cardine fondamentale su cui s'innescava tutta la teoria della Relatività, che ricava proprio dal continuo cartesiano "spazio-materia" la possibilità di descrivere soddisfacentemente le leggi della natura. Se si vuole parlare di espansione, insomma, pare assolutamente necessario riferirla a qualcosa, proprio quel che cercano di fare i cosmologi, contrapponendo alla lievitazione dello spazio (o alla temporalizzazione della metrica) l'invariabilità dei fenomeni governati dall'elettromagnetismo e dal campo nucleare, vale a dire della materia (atomi, stelle, galassie,...). Ma che significato fisico può avere l'affermazione che la materia è costante mentre il vuoto si espande? Se alla maniera di Mach tentiamo di tener ferme le distanze fra le galassie e di far rimpicciolire la materia, noi incappiamo in una paurosa antinomia: come si può attribuire un contenuto intrinseco a separazioni metriche che vengono pensate come *intervalli* e che quindi non hanno alcuna possibilità di essere direttamente sperimentate?

Se, ad ogni buon conto, si riesce ad ammettere che il metro sta mutando le sue norme di lunghezza rispetto alla materia siamo costretti a "snaturare" tutta la Relatività generale. Si dovrebbe vedere immediatamente che l'introduzione di una temporalità di carattere fisico nelle equazioni di campo rimette in discussione i presupposti che rendono così soddisfacente la formulazione di questa teoria; *temporalità fisica*, lo ripetiamo, e non puramente geometrica, in quanto non sarebbe ammissibile che tale temporalità sia riservata esclusivamente al dominio della metrica astratta. Per poter descrivere ancora i fenomeni della materia saremmo infatti costretti ad ammettere un tempo reale unidirezionale che scorre più in fretta nel vuoto (nel nulla?) e più adagio nelle vicende della materia, senza per questo poter giustificare tale rallentamento attraverso una rigorosa legge di gravitazione.

Poco importa se in una metrica in espansione la luce rischia di fermarsi; estrapolando a ritroso questa dilatazione delle distanze si perviene a un punto del passato in cui non solo le galassie o le stelle, ma forzatamente nemmeno gli atomi o i nuclei atomici avrebbero potuto avere un'esistenza separata (singolarità, big bang, creazione, buco nero-buco bianco). Anche così, però, non si saldano i conti con le magagne osservative. L'accertata insistenza di ammassi, dalle regioni più remote alle zone a noi più prossime, svela agli astronomi una continuità di aggregazione, una qualche ragione fisica insomma che permette agli ammassi stessi di non sfasciarsi o disperdersi; qualcosa che li tiene legati a scorno dell'espansione delle distanze. La variazione temporale dei rapporti metrici deve dunque subire un'ulteriore, drammatica restrizione: l'espansione non interessa, come abbiamo visto, né le particelle elementari, né gli atomi, né i reticoli cristallini, né le distanze fra le stelle e nemmeno fra le galassie: ma essenzialmente e forzatamente quella che divide un ammasso dall'altro.

Che duro prezzo sta pagando l'effetto Doppler per questo spostamento verso il rosso!... È molto difficile infatti procedere ad una corretta classificazione degli ammassi: molti di essi appaiono slegati o isolati mentre altri non mostrano confini significativi con ulteriori associazioni di galassie; in alcuni le galassie vi sono numerosissime, in altre vi si contano solo alcuni membri. Balza subito agli occhi, senza ulteriori precisazioni, che usando questo nuovo parametro di dilatazione si arriva a una conclusione in completo disaccordo con il principio Cosmologico: procedendo con questo angolo a ritroso nel passato si perviene a una situazione delle densità del tutto anisotropa e difforme che costringerebbe a postulare più big bang e un numero imprecisato di radiazioni di fondo fortemente discontinue.

Volendo inferire, ricordiamo che il calcolo delle masse degli ammassi sulla base dello scarto dei singoli membri dal valore di redshift cosmologico, conduce a risultati talmente scoraggianti, che basterebbe questo risultato da solo per scuotere l'ipotesi espansionistica. Nei casi più drammatici, per far quadrare i conti, bisognerebbe postulare una massa fino a cento volte superiore di quella osservabile negli ammassi e che potrebbe essere spiegata (e che altro?) con l'introduzione di oggetti inosservabili, di stelle densissime, di buchi neri,.... Ancora più sconcertante la distribuzione di questa massa fantasma: si ritiene che gli oggetti collassati siano generalmente astri che hanno compiuto il loro ciclo vitale e che quindi rappresentino lo stadio finale di stelle vecchie, poco probabili all'interno di sistemi giovani. Il numero di questi oggetti dovrebbe così diminuire approssimativamente con la distanza e tuttavia disporsi, caso per caso, alla necessità peculiari di ogni ammasso per potersi poi accordare coi fatti osservativi! L'ipotesi estrema che la massa mancante possa essere fornita dal

collasso di stelle di 40/60 masse solari implica un numero di buchi neri almeno pari a quello di tutte le stelle dell'universo osservabile. Nessuno ha trovato la massa mancante, e affermare l'esistenza di una materia oscura cento volte più abbondante di quella luminosa equivale a inventarsi scoperte mai avvenute.

Consideriamo infine un'onda luminosa in movimento fra due galassie A e B appartenenti a due differenti ammassi in allontanamento relativo l'uno dall'altra: l'aumento frazionario della sua lunghezza d'onda verrà deciso dal rapporto fra la recessione relativa dei due ammassi e la velocità della luce. Se però collochiamo sulla direttrice che porta l'onda luminosa da A verso B una sequenza di ammassi di galassie, questa luce dovrebbe giungere assai meno arrossata, avendo passato indenne buona parte del suo viaggio all'interno di altri ammassi. Arriviamo così al caso limite in cui un'altra onda, partita da un altro ammasso più vicino ma isolato, finirebbe per manifestare un valore di redshift più elevato di quello della galassia A, molto più luminosa, ma che ha avuto la fortuna, si fa per dire, di procedere a lungo all'interno di questi ammassi nel suo viaggio verso B.

Una delle tante occasioni perdute dalla scienza è quella, per esempio, di non aver chiesto ad Einstein se noi avremmo mai potuto osservare spostamenti di origine Doppler con valori superiori a $z=1$, appunto il valore che la cinematica classica attribuisce alla velocità della luce. È una vera disdetta che il più geniale fisico moderno non si sia espresso dettagliatamente su questo grattacapo spettroscopico, soprattutto oggi che gli astronomi "misurano col metro" gli spostamenti spettrali di certi quasar. Se avesse detto esplicitamente di no, indicando anzi tale limite come una possibile verifica sperimentale della Relatività ristretta, forse oggi sarebbero meno numerosi coloro che con tanta sicurezza organizzano tavole rotonde sull'espansione delle distanze, sulle radiazioni "fossili" e sulla "sfera di fuoco", e si sarebbero moltiplicati gli sforzi per studiare ipotesi di spostamento spettrale anche al di fuori della cinematica. A dire il vero, nessuno ha seguito Einstein nel suo volo più alto ed è perlomeno curioso che quest'uomo che ha vinto tante battaglie nella fisica ne abbia riportate così poche anche in cosmologia. Gli si rimprovera di aver ipotizzato un universo chiuso senza dubbio affascinante, ma purtroppo statico: eppure la stessa Relatività generale non è certo un gioiello di dinamica. Dice Einstein nel suo approccio al Macrocosmo:

"Questa teoria costituisce in verità un sistema soddisfacente solo se le proprietà fisiche dello spazio sono determinate totalmente ed unicamente dalla materia".

Ma in un universo in espansione la geometria dello spazio è sempre meno determinata dalla materia (diremmo anzi che non lo è affatto); nessun nesso collega più la densità al raggio del mondo, e a forza di sommare velocità relative, anche l'assioma principale della relatività ristretta va a farsi benedire. In questo caso, intatti, non trattandosi di singole velocità rispetto ad altre ma dello stesso sistema di riferimento metrico, è teoricamente sempre possibile sopporre un allontanamento superiore a "c" con la distanza, una volta concessa a questo spazio la straordinaria capacità di distendersi. Che piaccia o no, la cosmologia del big-bang fa apparire la relatività come una vicenda locale e transitoria della materia: e ci si dovrebbe assumere più chiaramente la responsabilità di questa scelta.

Questa precisione, che talora può essere espressa con otto e più cifre significanti, deve tener conto del fatto che ogni strumento, occhio, lastra o cellula fotoelettrica, è sensibile solo ad una certa banda dello

spettro, per cui se l'emissione non ha un'intensità uniforme, si determinano variazioni nella magnitudine con lo spostamento spettrale (nel nostro caso un ulteriore, intrinseco smorzamento della luminosità), variazioni che vanno opportunamente corrette per non introdurre elementi soggettivi o strumentali nelle misure. Occorre anche tener conto del fatto che queste correzioni non possono essere dirette, ma dipendono strettamente dal modello cosmologico assunto per ipotesi che, disgraziatamente, è subordinato alle misure correttive. Il guaio è che i rischi di selezione aumentano al di là di ogni limite quando la magnitudine di un astro è molto piccola: quanto più è debole l'oggetto, tanto più tendiamo ad attribuirgli una maggiore luminosità assoluta.

Non è probabilmente un caso che gli oggetti contraddistinti dal più marcato spostamento verso il rosso siano contemporaneamente pessimi campioni di luminosità; così non dobbiamo meravigliarci se la maggioranza degli astrofisici li considera gli astri più distanti dell'universo.

Quando nel 1964 si esaminò lo spettro della radiosorgente puntiforme 3C 9, lo sbalordimento fu generale; lo spostamento verso il rosso superava il 200%, valore che per la cinematica classica equivale a due volte quello della luce. Se non si vuole accettare che questo spostamento sia la prova che il redshift non è di natura cinematica (e poiché sarebbe aberrante ritenere che 3C 9 stia allontanandosi da noi ad una velocità di 800.000 Km/s), in che modo si può rendere conto di tale spostamento?

Lo abbiamo già visto; postulando uno spazio in espansione, cioè una metrica che si distende. Oppure, visto che lo spostamento è in alcuni casi così alto da rendere impossibile la lettura cosmologica, possiamo ripescare la Relatività ristretta e costruire la formula

$$\Delta\lambda = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \quad ; \quad \text{che fornisce:}$$

$$Vr = (2 cz + cz^2) / (2 + 2z + z^2)$$

cosicché, per quanto grande possa essere "z", il risultato conduce sempre a velocità inferiori a "c". Provvidenziale o mostruosa che sia l'applicazione di questa formula, essa consente ai cosmologi di tesi la tesi cinematica conferendo al quasar la natura di astri favolosi con i quali sarebbe possibile risalire la storia dell'universo fino al suo momento più antico. Questo, naturalmente, a patto di attribuire a questi oggetti una luminosità centinaia di volte superiore alle galassie più brillanti in una regione di spazio incredibilmente piccola.

Ma il quasar OQ 172, con un valore di redshift $z = -3.53$, dovrebbe trovarsi nelle immediate vicinanze di quella spropositata temperatura che non permise più ad alcun elemento della materia di mantenere la propria coesione: il big-bang appunto. Questa temperatura dovette rendere luminosissimo quell'Universo, molto più luminoso del quasar più luminoso, e noi dovremmo vedere ancora quella luce!

Come si difendono i fautori dell'espansione dinanzi a tutti questi argomenti? Malissimo, introducendo buchi neri ed altri oggetti non osservabili per legare gli ammassi, tirando lo spazio in tutte le direzioni, invocando formule relativistiche per giustificare i grandi shift, attribuendo all'evoluzione dei sistemi stellari tempi brevissimi, negando sistematicamente la segnalazione di spostamenti intrinseci.

È quella che i giocatori di scacchi chiamano "una difesa forzata"; se fosse possibile ammettere per

altra via una legge di proporzionalità fra i redshift e la distanza, l'inverso di questa costante è inutilizzabile perché non conduce più alla singolarità iniziale, alla grande esplosione. Più che di Hubble, i cosmologi hanno bisogno dell'inverso di Doppler...

L'idea alternativa di una perdita di energia nei quanti di luce sembra a prima vista assai ragionevole: quando si medita sull'antichità di un'onda che ha viaggiato per miliardi di anni attraverso polveri, campi magnetici, buche gravitazionali,... prima di giungere ai nostri strumenti, è facile dubitare che questa luce abbia la medesima *freschezza* di quella che produciamo in laboratorio, o di quella che in pochi minuti ci sforna il nostro prodigo Sole. Vi sono anche qui, tuttavia, formidabili obiezioni da superare, perché la perdita di energia cinetica dovrebbe ritrovarsi diffusa o assorbita sotto altra forma; inoltre l'astronomia ottica dimostra che non c'è perdita di nitidezza delle immagini col crescere della distanza.

Un effetto di spostamento progressivo verso le grandi lunghezze d'onda delle sorgenti luminose era implicito, per la verità, anche nel modello statico della prima cosmologia di Einstein; si tratta di una proprietà poco nota ed apprezzata e, per giunta, nemmeno esplicitata dal suo autore. Abbiamo imparato dai cosmologi che è proprio *tirando* lo spazio in tutte le direzioni che si produce l'allargamento delle righe spettrali della luce che lo attraversa; la variazione di lunghezza d'onda deve avvenire nella luce che sta viaggiando nello spazio. Se ciò è ipotizzabile, qualcosa di simile dovrebbe accadere anche semplicemente piegando ed incurvando questo spazio: il metro di Euclide si allunga anche su una superficie di Riemann se non vuole spezzarsi.

Secondo i principi della meccanica classica, la traiettoria di un grave puntiforme non soggetto a forze non può che essere rettilineo ed uniforme: è ciò che chiamiamo moto per inerzia e moto spontaneo. Il risultato non cambia se si considera il moto di un oggetto materiale che percorre una superficie priva di attrito in assenza di forze attive. Diremo in questo caso che la sua traiettoria deve essere una geodetica della superficie. Ora la determinazione della metrica da parte della materia non concede alla gravitazione il significato classico di "forza", ma, più analiticamente, le conferisce una proprietà geometrica. Si permane cioè nelle condizioni previste dal principio d'inerzia ma con una importante differenza, che in tal caso la struttura metrica è dotata di *curvatura*.

In tali condizioni le geodetiche non possono essere più rette: così, per esempio, i moti dei raggi luminosi che percorrono l'universo, in analogia ai corpi materiali, debbono essere considerati nel piano superspaziale come linee geodetiche attraversanti lo spazio curvo. È notevole osservare che se si esamina il problema da questo punto di vista si perviene ad una progressione del redshift attraverso una costante modificazione delle lunghezze d'onda. Il fatto che le righe spettrali d'una luce proveniente da una qualsiasi lontana galassia presentino un generale spostamento verso il rosso, non è in disaccordo con una rigorosa teoria dell'incurvamento geometrico dello spazio determinato dalla densità della materia esistente. Si vede anche da un punto di vista quantitativo che noi dovremmo attenderci da queste geodetiche un aumento frazionario della lunghezza d'onda in relazione pressoché lineare con la distanza della sorgente. Si tratta di effetti che evidentemente non possono entrare in gioco nel corrispettivo spettro di riferimento (cioè il Sole): possiamo pensare che le creste d'onda dei raggi di luce vengano sempre più separate dalla traiettoria impostagli dalla geometria generale e dalle irregolarità "locali" incontrate durante il percorso; un'ipotesi che induce a considerazioni del tutto analoghe per quel che riguarda le forze gravitazionali,

riproponendo in termini più circostanziati il deterioramento su scala cosmica della legge universale di Newton e la chiusura dell'universo.

L'idea che la successione delle creste d'onda possa essere influenzata dalla traiettoria dei fotoni non è dunque tanto più sconcertante di quella secondo la quale il numero dei centimetri di un metro dipende dal giorno in cui lo si adopera. Ma nell'universo statico di Albert Einstein c'è un termine cosmologico a prima vista tanto artificioso da sembrare perfino sospetto: per integrare le sue equazioni a un "continuum chiuso", infatti è necessario introdurre una costante che lo tenga in equilibrio e senza la quale l'universo franerebbe su se stesso fino a formare, come dice Newton, "una grande massa sferica".

Questo termine, indicato con la lettera greca Λ , è stato la causa di tutte le disgrazie che la Relatività generale ha patito in cosmologia.

La formulazione del tensore cosmologico avvenne nel 1917, quando ancora non si sapeva nulla dello spostamento verso il rosso astronomico. Einstein fa più spesso riferimento ad una diminuzione della forza di attrazione alle grandi distanze "più di quanto non risulti dalla legge $1/r^2$ " e non si può fare a meno di domandarsi, almeno come ipotesi di lavoro se l'incurvamento di tutte le interazioni fisiche possa ripescare questo modello rigorosamente relativistico e tenerlo in equilibrio (magari in rotazione) sulle ceneri dell'effetto Doppler. La sfida è lanciata... ai cosmologi relativisti di buona volontà.

Ma se Einstein può ridare ad Hubble la mano che Doppler gli ha tolto, è l'osservazione diretta che alla fine ha sempre il coltello dalla parte del manico. Nessuna teoria di proporzionalità fra il redshift e la distanza è in grado di collocare coerentemente gli spostamenti dei quasar, inoltre è noto da più di vent'anni che la differenza qualitativa delle galassie si esprime anche attraverso il valore di z : per esempio le galassie a spirale mostrano spostamenti verso il rosso sistematicamente più elevati di quelle ellittiche nonostante appartengano al medesimo gruppo od ammasso; nell'ammasso della Vergine sono state evidenziate differenze di z che se interpretate come effetto Doppler avrebbero per risultato velocità di centinaia e migliaia di chilometri al secondo maggiori di quelle ellittiche.

Ma è solo la punta dell'iceberg. Sono stati fotografati quasar fra bracci di galassie o emergenti dal nucleo, con valore di z talmente discordanti che nessun effetto cinematico potrebbe spiegare, riscontrate differenti distribuzioni di redshift perfino nei nuclei secondari di una medesima galassia e ovunque, dove questi oggetti appaiono in una situazione di particolare perturbazione ottica o radioemittente, si riscontrano valori di z senza alcun rapporto con la luminosità. E ancora: rileviamo sistematicamente che le galassie compagne più piccole sono sempre più arrossate rispetto alla principale del gruppo pur se poste alla stessa distanza o interagenti fra loro, e sistematicamente rileviamo che la galassia principale è sempre più spostata verso il rosso quando è radioemittente nei confronti di compagne più piccole ma radioquiete.

Non si può far nemmeno un cenno alle difficoltà all'ostruzionismo ed al grande isolamento contro cui hanno dovuto lottare alcuni ricercatori per produrre questi risultati. La ragione, tuttavia, è evidentissima: quando Halton Arp fotografa oggetti molto vicini con valori di z molto diversi e calcola che le probabilità prospettive sono dell'ordine di due su mille o di una su un milione, i rappresentanti dell'establishment cosmologico sanno perfettamente che ci sono due possibilità su mille o una su un milione che la legge di Hubble sia valida. Così non sembrano mostrare alcuna emozione

nell'osservare lastre fotografiche che hanno mille probabilità contro due o un milione contro una di evidenziare spostamenti intrinseci verso il rosso!

Dunque gli spostamenti intrinseci verso il rosso esistono. ma se esistono, in quale misura possono essere in grado di modificare le nostre valutazioni? La risposta è drammatica, perché lo spostamento che misuriamo in un oggetto remoto potrebbe essere dovuto alla somma di tre diverse componenti: una geometrica (distanza o velocità), una dovuta al valore intrinseco (stato della materia) e una dovuta alla componente radiale del moto effettivo di quel corpo (l'effetto Doppler "canonico", non cosmologico). Quest'ultimo fattore è del tutto trascurabile alle grandi distanze, ma resterebbe sempre da determinare in quali proporzioni entrano in gioco le altre due componenti. Se le velocità non sono reali, un indizio decisivo sulle possibilità che il redshift possa comunque riflettere una *distanza* può provenirci dalla corretta collocazione dei quasar. Ma in entrambi i casi, sia che si tratti di oggetti relativamente vicini associati a galassie, sia che si tratti dei più lontani e luminosi astri dell'universo lo spostamento verso il rosso esprime sicuramente una qualità fisica, un differente stato della materia. Già fin dal 1958 il grande astronomo armeno Viktor Ambartsumian aveva espresso la convinzione che le galassie sorgono dai loro stessi nuclei eruttando materia per processi fisici a noi ignoti. Con lo zelo di un vulcanologo, Ambartsumian prende in esame le cosiddette "catture" o "collisioni" di galassie, gli effetti gravitazionali di marea e gli oggetti anomali. Sottoponendo a minuziosa analisi i filamenti luminosi ed i *ponti di materia* tra galassie vicine, Ambartsumian conclude che tali ponti devono essere considerati invece come gli ultimi legami che ancora uniscono queste galassie. La materia cosmica non ha affatto la stessa età, e men che mai la medesima origine: in molti casi noi assistiamo direttamente alla fissione di nuove galassie e alla formazione di protomateria, in uno scenario che testimonia un'incessante attività delle forze cosmiche.

La cosmologia del big-bang, già lo abbiamo visto, ha invece assoluto bisogno di costanti universali (tempo cosmico, espansione metrica,...) perché è da queste che ricava il termine di riferimento di tutte le altre variazioni: non ha scampo se il redshift non esprime una *fuga*, un *allontanamento* dal punto d'origine. E se ammettiamo per altra via uno spostamento verso il rosso causato da interazioni fra fotoni, decadimenti energetici, variazioni della massa dell'elettrone, traiettorie relativistiche, indici di rifrazione del mezzo cosmico,... la meta così lungamente perseguita di un momento iniziale, di un motore primo, di un "fiat lux", sprofonda nel baratro, orribile e maestoso di un universo insondabile.

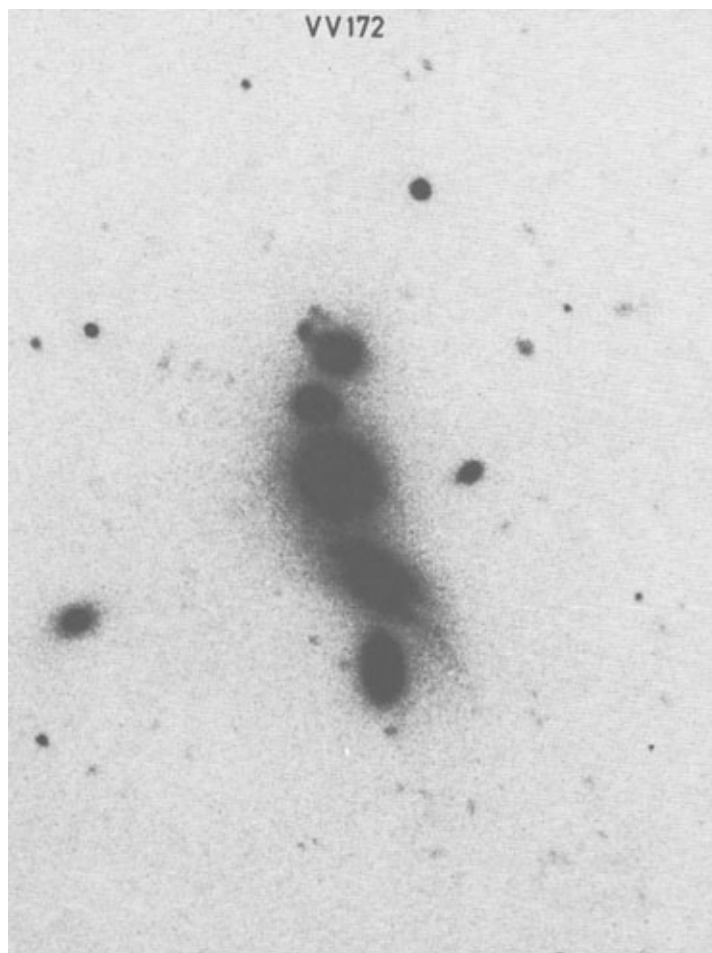
Che mostra di esistere, tuttavia: e che vuole esistere. Se il *mondo* perde energia spostandosi verso il rosso, bisogna pensare che in qualche modo la riassorba per ridiffonderla, prima o poi, sotto forma di energia nascente: l'eccesso di spostamento verso il rosso si spiegherebbe non cosmologicamente attraverso la maggiore *giovinanza* degli oggetti che si sono appena separati dai nuclei originari, fino ai casi estremi dei quasar che non sarebbero più tanto remoti, ma che costituirebbero i frammenti di questa riaffiorante giovinanza. I loro atomi, insomma, sarebbero molto più leggeri, le loro orbite elettroniche più distanziate, i loro spettri molto più rossi.

Da buoni dilettanti preferiamo concludere giocando ancora un po' con l'effetto Doppler e con gli spostamenti

intrinseci, immaginando gli ipotetici abitanti di ciascun membro della catena di galassie VV 172 (vedi riquadro 1), intenti a ricavare spettri ed indicazioni dall'universo circostante.

Il valore degli spostamenti per ogni membro della catena, dall'alto verso il basso, dal nostro punto di osservazione, è espresso nel riquadro 2).

E' chiaro che per almeno uno di essi, il secondo dall'alto, lo spostamento è almeno in parte intrinseco, perché non può trattarsi di un oggetto enorme nel lontano sfondo proiettato lì accidentalmente. Assumendo per ipotesi che la sola eccedenza di z (circa 0,07!) rappresenti l'effettiva quantità di spostamento intrinseco di quel membro rispetto agli altri oggetti della catena, otteniamo un'improbabile anomalia (1 a 5) all'interno di un gruppo in evidente interazione. La prova dell'esistenza dello spostamento intrinseco è associata in questo caso ad una alta probabilità che sia intrinseca anche la componente di z di tutti gli altri membri (in parte o interamente).



(Riquadro 1)

Qual è il punto di vista di ciascun membro in relazione agli altri componenti del gruppo?

Beh, certo non possiamo sapere come la pensano lassù dell'effetto Doppler o degli spostamenti intrinseci: siamo anzi molto preoccupati perché almeno una delle cinque galassie ha uno spettro di riferimento molto diverso da quello delle altre compagne. Se tutti i membri attribuiscono al moto radiale i differenti valori di z , diciamo grossolanamente che la galassia A vede le compagne C, D, E spostate verso il blu, in avvicinamento. La più lontana, E, si avvicina più rapidamente, seguita da D e da C, mentre B, la più vicina, molto spostata verso il rosso, si allontana a grande velocità.

La galassia B vede tutte le compagne avvicinarsi. A, la più vicina, è la più lenta, E, la più lontana, la più

veloce, seguita da D e da C, tutte molto spostate verso il blu.

La galassia C vede: A spostata verso il rosso, in allontanamento, e ancor più B, in rapidissima fuga. D ed E sono spostate verso il blu ed E è la più veloce nel suo moto di avvicinamento.

La galassia D ha C, B ed A nel suo rosso. B è di gran lunga la più veloce ad allontanarsi, seguita da A e da C. Nel blu, in avvicinamento, solo E. La galassia E ha tutte le compagne spostate verso il rosso, in allontanamento, B è la più veloce, seguita da A (la più lontana), da C e da D, la più lenta e vicina.

Notiamo che queste convinzioni non potranno durare a lungo: tutte queste galassie sono abbastanza vicine per poter evidenziare un aumento o una diminuzione del diametro angolare delle rispettive compagne sul vicino sfondo, se queste mostrano di allontanarsi o di avvicinarsi molto rapidamente.

La domanda vera è: se la lunghezza d'onda di un elemento può dipendere dallo stato *peculiare* della materia in cui si effettua la misurazione, qual'è la reale lunghezza d'onda di un elemento? Non si può rispondere in termini rigorosamente relativistici senza mettere in pericolo tutte le leggi che abbiamo scoperto nel nostro sistema locale: queste domande sono minacce terribili per l'applicazione della nostra fisica al macrocosmo.

Chi vuole proseguire il gioco può ora chiedersi quali modelli cosmologici potrebbero ipotizzare gli abitanti di ciascun membro della catena VV 172, e poi chiedersi a quale potenza negativa del numero dieci scenderebbe la probabilità di dedurre dalle leggi locali di ogni sistema dell'universo, l'universo intero.

Come dice Teseo nel "Sogno di una notte d'estate": "In questa situazione le interpretazioni migliori non sono che ombre; e quelle peggiori non sono diverse, se l'immaginazione se le accomoda".

Riquadro 2)		
Galassia	z	interpretazione Doppler
A	0,0537	16.070 km/s
B	0,123	36.880 km/s
C	0,0529	15.820 km/s
D	0,0524	15.690 km/s
E	0,0517	15.480 km/s

Conclusioni

Se le velocità non sono reali, lo scenario di un apparire globale della materia, diventa insostenibile. Privata del nesso cosmogonico che l'effetto Doppler sembrava fornirle così elegantemente, la cosmologia contemporanea rischia davvero la bancarotta?

Ma perché mai? La caccia allo spostamento verso il rosso è appena cominciata! Una volta tagliati i ponti con la *metrica temporalizzata*, l'evidenza che il redshift esprime un paragone fra differenti stati della materia inaugura una nuova, grande avventura per l'astrofisica del duemila. Se possiamo partire da un dato assolutamente certo, se davvero disponiamo di un ragguglio al di sopra di ogni sospetto e di un'informazione qualitativa della materia, allora chissà, la cosmologia può davvero ridurre quell'abisso che ci separa dalla comprensione di un ordine di grandezza così smisurato.

Non è facile avere tanta fede nella ragione.

Molte delle leggi fisiche scoperte nella scala delle risoluzioni umane non valgono più se trasportate in quella atomica; con l'universo lo sbalzo è ancora più grande: possiamo davvero formulare una teoria del continuo al riparo da ogni eccezione? Quando forziamo i nostri telescopi al limite della portata strumentale e cerchiamo di strappare ancora qualche ombra al fondo del cielo, la paura di introdurre contaminazioni, margini di errore, o di interferire in qualche modo sulle misurazioni può impadronirsi di chiunque. Chi conosce tutti i misteri della luce?

Secondo le migliori inferenze di Sandage (1975), la costante di Hubble è fissata in circa 50 km/s per Megaparsec. In termini di velocità una tolleranza del 5% +/- su una lettura $z = 0,0035$ corrisponde appunto a circa 1 Mpc. Per $z = 0,035$ si hanno 10 Mpc, e per $z = 0,10$ si hanno 29 Mpc. E per $z = 0,35$ o $z = 3,53$? La casistica di rilevazioni spettrali ripetute con esiti differenti è piuttosto abbondante, mentre non si può fare a meno di notare che questa tolleranza è del tutto trascurabile nell'ambito dell'ammissione di spostamenti intrinseci. Chi obietta che un margine d'errore del 5% è eccessivo, deve poi avere l'onestà di riconoscere che la costante H^0 viene stimata sulla base della magnitudine apparente. Se poi andiamo candidamente a verificare la distribuzione del redshift partendo dalla vicina M 31 e dalle sue compagne (il cosiddetto Gruppo Locale), l'insuccesso è clamoroso: nessuna di queste galassie si dispone coerentemente sulla diagonale retta di Hubble! Eppure sono tutte alla stessa distanza!

Ciò sembra decisivo per l'accoglimento degli spostamenti intrinseci verso il rosso, ma non c'è un solo libro di divulgazione astronomica che ne faccia menzione. Allora? Allora dobbiamo dubitare, dubitare fino alla certezza. E poi tornare con spirito rinnovato alle 18 galassie di Hubble e a tutte le altre: non c'è il rischio di rimanere senza lavoro.

(1) Assumendo lo spazio i cui elementi sono tutte le funzioni $f(x)$ continue in un intervallo (a,b) , la distanza tra due funzioni $f_1(x)$ ed $f_2(x)$ può essere il numero rappresentato dall'estremo superiore della differenza fra $f_1(x)$ ed $f_2(x)$ in valore assoluto, e per ogni valore di x in (a,b) , ma può essere

anche il numero rappresentato da $\int_a^b [F_1(x) - F_2(x)]^2$. Qualsiasi spazio metrico nel quale siano

stati definiti i concetti di distanza è uno spazio astratto che può "metricizzarsi" a piacere.