

ALMA Mater Studiorum
Universita` degli Studi di Bologna

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Triennale in Astronomia

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Quasar – Variabilità e Casualità

Elaborato Finale

Candidato:

Francesco Fragnito

Relatore:

Chiar.mo Prof.:

Lauro Moscardini

Sessione II° 2 Seduta
Anno Accademico 2012/2013

Indice

1. Introduzione e Galassie Attive

1.1 Galassie Seyfert

1.2 Radio Galassie

1.3 LINER

1.4 Morfologia: Lobi radio e jet

1.5 Modelli Unificati

2. Quasar

2.1 Scoperta e principali proprietà dei Quasar

2.2 Radio-loud e Radio-quiet Quasar

2.3 Polarizzazione nei Quasar

2.4 La classificazione di Netzer

2.5 Blazar

3. Variabilità e Tempi Scala

3.1 Variabilità ed ipotesi di un SMBH

3.2 Duplice Variabilità

3.3 Variabilità a lungo periodo

3.4 Variabilità a breve periodo

4. Casualità dei Quasar come tecnica di crittografia

4.1 One time pad

4.2 Il Cifrario Quasar

1. Introduzione e Galassie Attive

L'obiettivo primario su cui ci soffermeremo è la peculiare proprietà dei Quasar di possedere una SED (Spectral Energy Distribution) variabile nel tempo ad ogni frequenza con una “*quasi-periodicità*”, proprietà che si riscontra con tempi scala molto più brevi in particolar modo nei Blazar. Vedremo, infatti, come l'alta variabilità di questi ultimi risulterà utile grazie all'assenza di *periodicità caratteristica* su ordini di grandezza temporali sempre più brevi. Infine analizzeremo come Quasar e ancor più i Blazar possano diventare un valido strumento astrofisico per la creazione di un cifrario crittografico.

Prima, però, è opportuno fare una breve introduzione alla classe delle Galassie Attive, che comprende, oltre ai Quasar e Blazars stessi, anche le *Galassie Seyfert*, *Radio Galassie* e *LINER*.

Il nome di Galassie Attive deriva dal loro *Nucleo Galattico Attivo* (AGN) composto da un *Buco Nero Supermassivo* immerso in un campo magnetico, che rappresenta il motore principale sul quale si baseranno tutti i processi di radiazione, prevalentemente processi di *Sincrotrone*, *Inverse Compton* o *SSC (Synchrotron Self-Compton)*, osservati nelle diverse componenti di questi oggetti.

Le Galassie Attive, note per essere la fonte principale di luce che giunge alla Terra dall'Universo primordiale (Cap. 2.1), posseggono, oltre al nucleo centrale molto compatto, molte similitudini che, come vedremo, hanno portato a un Modello Unificato di AGN. Queste caratteristiche comuni si esprimono in particolare attraverso un ampio spettro continuo e una variabilità temporale osservabile in diverse bande, ma vi sono

anche differenze evidenziate nel tipo di righe di emissione (*Broad* e *Narrow*) nel radio e in alcuni casi nei raggi X. In ogni caso una trattazione generale degli AGN attraverso il Modello Unificato può essere presa in considerazione per spiegare alcune proprietà dei Quasar.

1.1 Galassie Seyfert

Le *Galassie Seyfert*, dall'astronomo Carl K. Seyfert, furono scoperte grazie alle loro righe di emissione molto brillanti. Esse sono divise in due categorie:

- *Seyfert 1* con righe di emissione principalmente molto larghe e una luminosità molto elevata.
- *Seyfert 2* con solo righe di emissione sottili e una luminosità meno elevata.

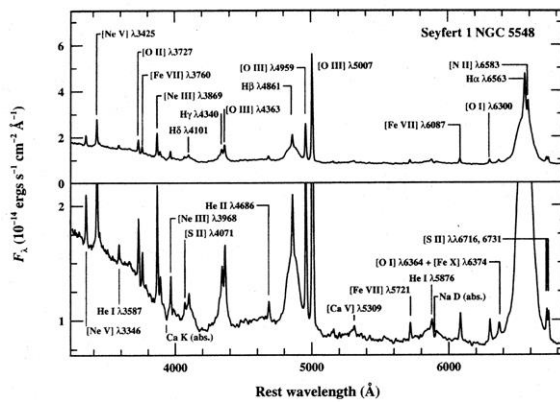


Fig. 1. Spettro ultravioletto della Galassia Seyfert 1 NGC 5548 (Filippenko et al. 1993).

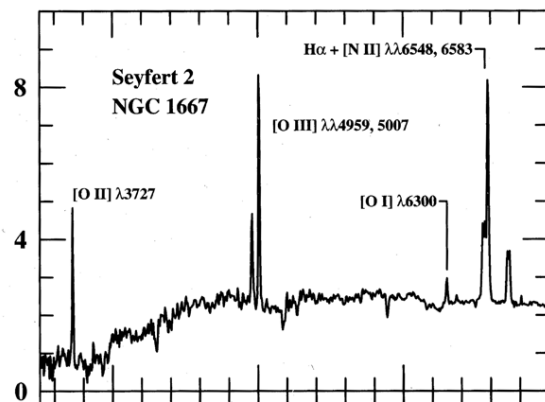


Fig. 2. Spettro ottico della Galassia Seyfert 2 NGC 1667 (Filippenko et al. 1993).

Proprietà principale delle *Seyfert 1* è l'emissione, con una variabilità di giorni od ore, di raggi X che vengono emessi in quantità minore dalle *Seyfert 2*.

1.2 Radio Galassie

Le *Radio Galassie*, in similitudine con le *Galassie Seyfert*, sono anch'esse divise in due tipologie:

- *Radio Galassie con righe di emissione larghe* (BLRG), le quali posseggono un nucleo centrale compatto molto luminoso circondato da uno strato nebuloso detto *Toro*.
- *Radio Galassie con righe di emissione sottili* (NLRG), le quali sono morfologicamente simili a galassie ellittiche.

1.3 LINER

Le *Regioni con righe di emissione nucleari a bassa ionizzazione* (LINER) rappresentano il limite minimo di luminosità delle Galassie Attive, a causa della loro bassissima luminosità proveniente dal nucleo. Il loro nome deriva per l'appunto dalle loro forti righe di emissione a bassa ionizzazione.

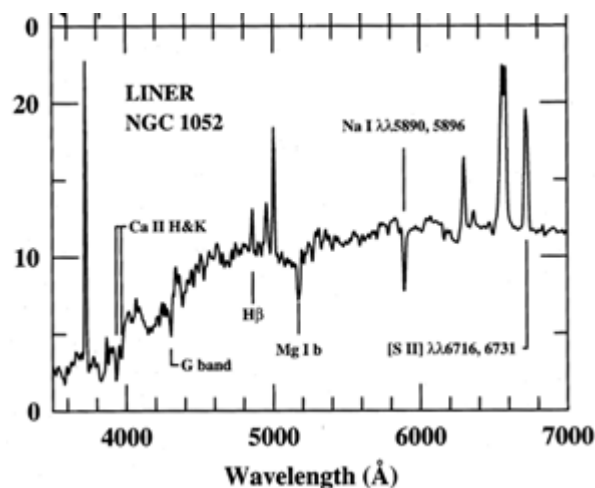


Fig. 3. Spettro ottico del LINER NGC 1052 (Ho, Filippenko and Sargent 1993).

1.4 Morfologia: Lobi radio e jet

Principale caratteristica di una Galassia Attiva sono i due *lobi radio* che la circondano, entrambi connessi con il nucleo centrale tramite un *jet*, che occupa una parte di spazio tra il lobo e la sorgente, in cui si osserva un'alta attività in emissione di sincrotrone dovuta alle velocità relativistiche possedute dalle particelle uscenti dal nucleo centrale.

Dopo il moto superluminale posseduto nei *jet*, le particelle arrivano ai lobi con velocità molto minori e non più relativistiche, a causa anche degli attriti interni ed esterni nei *jet*, “accumulandosi” negli *hot spot*, che diventano una delle fonti più luminose degli AGN.

Per Galassie Attive molto luminose riusciamo ad identificare spesso solo uno dei due *jet*. Il secondo *jet* può a volte essere oscurato dall'eccessiva emissione luminosa del *lobo radio* o per la maggior parte dei casi ciò è dovuto ad un effetto Doppler, generante un'aberrazione relativistica, dovuto all'alto redshift della sorgente.

E' necessario, quindi, tener conto della proiezione della Galassia sul piano del cielo, ossia del proprio angolo di orientazione rispetto alla linea di osservazione e delle velocità raggiunte dalle particelle nei *jet*.

In generale vale il seguente rapporto tra *jet* (diretto verso di noi) e *counter-jet* (diretto in verso opposto):

$$R = \frac{B_{jet}}{B_{c-jet}} = \left(\frac{1 + \beta \cos \vartheta}{1 - \beta \cos \vartheta} \right)^{2+\alpha} \quad (1.1)$$

dove B_{jet} rappresenta la brillantezza del *jet*, B_{c-jet} quella del *counter-jet*, β la velocità in termini di velocità della luce, θ l'angolo d'inclinazione rispetto al piano del cielo e α l'indice spettrale.

Per esempio, se $\beta = 0.98$, $\alpha = 0.7$ e $\theta = 0$ risulta $R = 2 \cdot 10^3$, ossia non riesco ad osservare più il *counter-jet*.

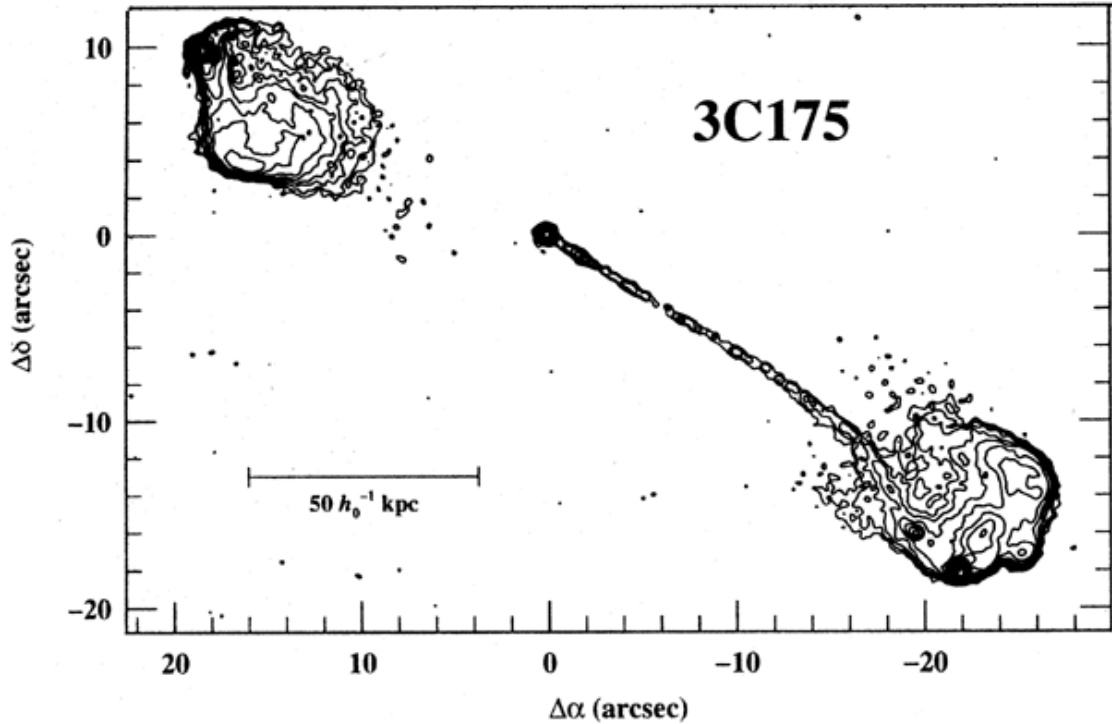


Fig. 4. Mappa del Quasar 3C175, osservato tramite il Very Large Array a 4.9 GHz (Bridle et al. 1994).

1.5 Modelli Unificati

Le classi di Galassie Attive non sempre si mantengono stabili nella loro classificazione. Su un tempo scala di alcuni anni, infatti, la variabilità temporale può modificare la SED e quindi la classificazione di un oggetto. Molte Galassie Attive osservate da Seyfert sono “*evolute*” da tipo 1 a tipo 2. Questa evoluzione è stata uno degli indizi che ha portato a teorizzare diversi Modelli Unificati per gli AGN.

Prendendo infatti l’esempio delle *Galassie Seyfert*, la loro tipologia è caratterizzata principalmente dalla presenza o meno di righe di emissione larghe, come visto in precedenza. Essa però può non essere considerata come un parametro intrinseco della galassia, anzi, l’intensità di emissione della “*broad line region*” è legata bensì

all'assorbimento della *polvere* situata nello strato nebuloso (*Toro*) che l'avvolge e alla non simmetria sferica degli AGN.

L'*Orientazione* delle Galassie Attive diventa quindi uno dei parametri su cui si basano tutti i modelli di unificazione.

I parametri intrinseci su cui si basano le diverse teorie di Modello Unificato sono:

- La *Massa del Buco Nero* centrale
- Il *Tasso di accrescimento* (Cap. 3.3)
- *Spin* del Buco Nero
- *Orientazione* dell'AGN

Alcuni di questi parametri sono legati strettamente alla luminosità delle Galassie Attive e di conseguenza anche alla loro variabilità.

2. Quasar

2.1 Scoperta e principali proprietà dei Quasar

Il nome Quasar deriva dall'abbreviazione di *Quasi-stellar Radio Source* (QSR). Il primo Quasar fu osservato nel 1960 da Thomas Matthews e Allan Sandge, che definì l'oggetto "*estremamente strano*".

L'oggetto in questione era *3C48*, il quale dopo successivi studi si rivelò essere ad una distanza di Hubble $d=900 \text{ Mpc}/h$, in pratica uno degli oggetti più distanti nell'universo osservati a quell'epoca.

La grandissima distanza è infatti una delle principali proprietà riscontrate nei Quasar.

Da ciò deriva la seconda principale caratteristica: trovandosi ad una tale distanza e, nonostante ciò, essendo ancora fortemente visibili, essi devono possedere un'altissima luminosità (pari circa a 10^{46} erg/s nel visibile e circa 10^{43} erg/s nel radio).

Inoltre i Quasar sono soggetti a tutte le principali caratteristiche che contraddistinguono una Galassia Attiva, come righe di emissione sia larghe che sottili, che spaziano dal radio ai raggi X.

2.2 Radio-loud e Radio-quiet Quasar

E' bene notare che non tutti i tipi di Quasar hanno un altissimo livello di emissione nel radio. Per questo motivo possiamo distinguere due tipi di Quasar:

- *Radio-loud* o *Radio Quasar* (RQ) che hanno come caratteristica una forte emissione nel radio e sono abbastanza polarizzati.
- *Radio-quiet* o *Quiet Quasar* (QQ) che al contrario hanno una debole emissione nel radio e una debole polarizzazione.

Tra tutti i tipi di Quasar scoperti, i *Quiet Quasar* raggiungono il 90% del totale. Una spiegazione di questa differenza di abbondanza di oggetti osservati così elevata può essere data dal fatto che tutti i RQ posseggono al loro centro un buco nero molto più massivo dei QQ, che permette una maggiore intensità di emissione radio.

Si tende perciò a distinguere, anche se raramente, tra i QSR e i nuovi "oggetti": *Quasi-stellar Objects* (QSO).

2.3 Polarizzazione nei Quasar

Nei Quasar in genere si osserva un basso angolo di polarizzazione nel visibile che si aggira attorno al 3%, anche se ci sono alcune eccezioni per cui la polarizzazione può raggiungere il 40%. In ogni caso, in osservanza del Modello Unificato, prendendo in considerazione il *nucleo* e i *lobi* di una Galassia Attiva possiamo distinguere due regimi di polarizzazione.

I Quasar ad alta polarizzazione, classificati come *Sorgenti Compatte*, devono la maggior parte dell'emissione radio al loro nucleo centrale. Il processo di auto-assorbimento di sincrotrone provoca quindi una polarizzazione non troppo elevata.

Al contrario, invece, nelle *Sorgenti con lobi dominanti* la polarizzazione nel radio può anche raggiungere livelli del 60%.

2.4 La classificazione di Netzer

A causa delle tante similitudini che si rispecchiano nel Modello Unificato, *H. Netzer* propose una nuova classificazione ("*Active Galactic Nuclei*", eds. R.D. Blandford, H. Netzer and L. Woltjer, 1990).

Unendo i vari oggetti che compongono le Galassie Attive in sottoclassi di Quasar, basandosi principalmente sulla luminosità e sulla divisione in tipi spettrali, si può creare uno schema facendo uso delle righe di emissione: Quasar (QI), *Miniquasar* (QII) e *Microquasar* (QIII).

Nella categoria dei *Miniquasar* possono essere comprese tutte le *Seyfert 1* e le *Seyfert 2* molto brillanti, mentre alla categoria dei *Microquasar* appartengono le *Seyfert* meno luminose e i LINER.

Usando il tipo di suddivisione visto per le *Seyfert*, anche questi nuovi *oggetti* si possono suddividere in più categorie, assegnando un numero tra 1.0 e 2.0 a seconda del rapporto tra righe di emissione larghe e righe di emissione sottili (il tipo 1.0 non mostra righe sottili, mentre il tipo 2.0 possiede solo righe sottili).

AGN in sottoclassi di Quasar (H. Netzer, 1990)

	QI	QII	QIII
Luminosità (ottico, raggi X) erg/s	$10^{45} - 10^{47}$	$10^{43} - 10^{45}$	$10^{41} - 10^{43}$
Tipo spettrale	1.0 - 1.5	1.0 - 2.0	1.8 - 2.0
Larghezza delle righe (km/s)	400 - 10,000	300 - 10,000	200 - 400
Variabilità del continuo	sì	sì	non osservata
Variabilità delle righe	in alcune	in molte	non osservata

La tabella si basa esclusivamente su proprietà osservate. Infatti soffermandoci sulla variabilità nel continuo di questi oggetti, si può notare come essa sia molto più comune nei QI e nei QII, anche se mancano ancora precise rilevazioni nei QIII.

La classificazione di Netzer dunque si inserisce nelle varie teorie di Modello Unificato creando un forte schema per quanto riguarda alcune Galassie Attive, unificandole tramite sottocategorie di Quasar. Ciò mette in evidenza come uno studio della variabilità dei diversi oggetti con un *Nucleo Galattico Attivo* possa essere ampliato, tralasciando le proprietà più peculiari delle singole galassie.

Tramite Netzer sarà quindi lecito usare la parola Quasar per prendere in considerazione ogni classe di AGN vista finora. Infine, sfruttando questa proprietà, partendo dal fatto che ogni Quasar ha una sua propria variabilità temporale ed ognuna è diversa dall'altra, potremo trovare una sua applicazione pratica.

2.5 Blazar

Andando ad osservare le righe di emissione radio nei Quasar, come in molti altri AGN, notiamo una variabilità di luminosità molto importante nell'arco di poche settimane, giorni o anche ore (con una variazione di un fattore di 10^2), che si riduce fino a un periodo di pochi minuti o secondi nell'Ottico/UV e nei raggi X, con una piccola variazione di fase (Cap. 3.3), per alcuni di essi.

La variazione di luminosità più notevole si è avuta nel Quasar 3C 279 nel 1937 (Fig. 5) dove l'oggetto è riuscito a raggiungere una variazione di un fattore 250.

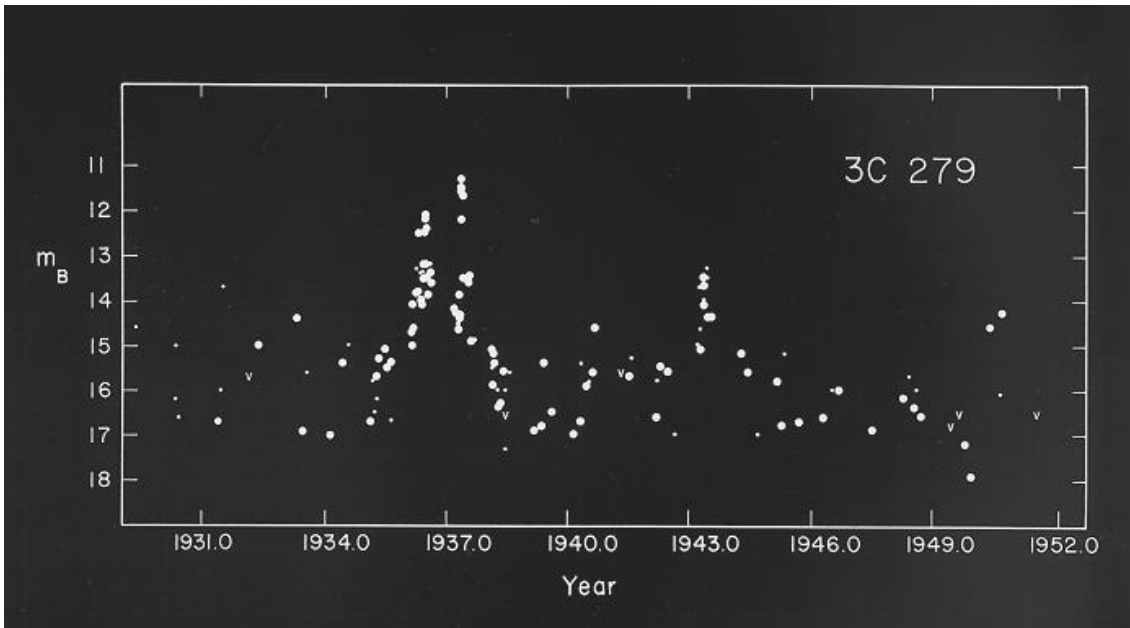


Fig. 5 Variabilità della magnitudine apparente del Quasar 3C279 tra il 1930 e il 1952 (Eachus and Liller, 1975).

L'oggetto 3C279 è oggi definito come *OVV* (*Optically Violent Variable*), appartenente alla classe dei *Blazar*.

Ciò che contraddistingue questi oggetti è l'alto grado di polarizzazione nell'Ottico/UV, l'osservazione di un *jet* "one-side" e in particolare la loro altissima variabilità temporale di luminosità.

I Blazar si dividono nelle seguenti due sottocategorie:

- *BL Lac*, il cui nome deriva dal Blazar trovato nella costellazione di Lacerta e che fu inizialmente classificato come stella variabile a causa della sua variazione di luminosità irregolare. Infatti i *BL Lac* possono variare generalmente la loro luminosità del 30% in un giorno.
- *OVV*, che sono generalmente più luminosi dei *BL Lac* e differentemente da loro posseggono *Broad Line Region*.

3. Variabilità e Tempi scala

La variabilità di luminosità dei Quasar è strettamente legata all'ipotesi di un *Buco Nero Supermassivo (SMBH)* e molto compatto nel nucleo centrale di un Quasar. Infatti, come vedremo in seguito, essa ha origine dai processi che hanno luogo nel disco di accrescimento del *BH* e nella parte iniziale dei *jet*.

3.1 Variabilità ed ipotesi di un SMBH:

Le variazioni di luminosità prese in considerazione non possono avvenire in un tempo minore del tempo di attraversamento della regione dalla quale proviene la radiazione emessa. Per cui:

$$\Delta t \geq (R/c) \rightarrow R \leq c\Delta t \quad (3.1)$$

ossia, per ordini di variabilità di decine di giorni, si ottiene che la regione da cui proviene la radiazione dovrà possedere un diametro non superiore a $\sim 10^{-3}$ pc.

Inoltre possiamo stabilire un legame tra la massa M e la luminosità L per una sorgente Quasar ($L \approx 10^{46}$ erg/s) emettente su tempi scala pari a Δt e con un'efficienza di conversione materia-energia η del 10%:

$$M = (L\Delta t)/(\eta c^2) \quad (3.2)$$

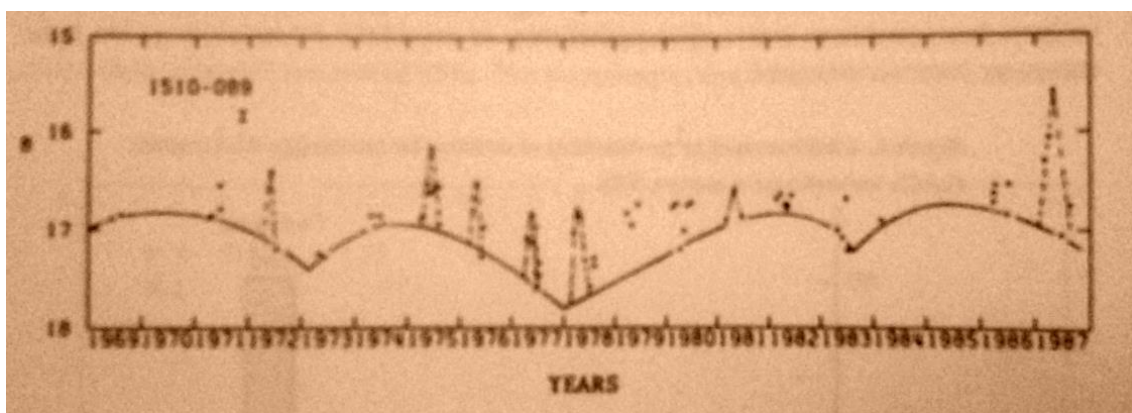
Da cui la massa del BH del Quasar risulta essere dell'ordine di 10^8 masse solari, consistente con la relazione del Raggio di Schwarzschild:

$$R = R_s = 2GM/c^2 \quad (3.3)$$

3.2 Duplice Variabilità

Sebbene sia usato spesso il termine di tempi scala di variabilità, è bene tener presente che *variabilità* nei Quasar non coincide con *periodicità*. Infatti, possiamo identificare dei tempi scala su lungo periodo, identificandoli come “*tempi scala caratteristici*” del Quasar, e tempi scala su breve periodo, ossia brevi eventi temporali di “*burst*” di luminosità da un livello base, che esso stesso varia, però su tempi scala di anni. I due tempi scala possono essere messi a volte in correlazione. Infatti ad una diminuzione di luminosità nel livello base possono coincidere una serie di innalzamenti e crolli di luminosità in brevi o brevissimi periodi (*outburst*).

Ciò può essere osservato nella seguente figura del Quasar 1510-089 dove si delineano effettivamente duplici tempi scala, originati da differenti processi in atto nell’oggetto: il primo con un periodo di anni e il secondo con *outburst* di pochi mesi o giorni.



Tempi scala a breve e lungo periodo (Smith et al. 1991).

Le cause che provocano questi due tipi di variabilità, come già detto, sono differenti.

3.3 Variabilità a lungo periodo:

La variazione su lungo periodo della SED dell'oggetto è legata a ciò che avviene nel disco di accrescimento attorno al BH del Quasar. Esso è infatti il “motore” che provoca l'alta luminosità dei Quasar.

Partendo dalla definizione di luminosità come variazione di energia, abbiamo

$$L = dE/dt = \eta c^2 dM/dt \quad (3.4)$$

dove dM/dt è definito “*accretion rate*”, ossia la quantità di materia trasformata in energia in un intervallo di tempo, che in caso di sola energia gravitazionale (energia da collasso) diventa

$$L = (GM/r) (dM/dt) \quad (3.5)$$

dove l'efficienza η , proporzionale a M/r , ci indica la compattezza del sistema.

Sostituendo r con il raggio di Schwarzschild R_s , essa diventa massima per un BH, ma anche per radiazione ottica/UV, proveniente dal disco di accrescimento ad $r = 5 R_s$, abbiamo in ogni caso un'alta efficienza ($\eta = 0.1$). Ciò ci permette di assumere il collasso gravitazionale come processo principale di produzione di energia/luminosità da un Quasar, con valori di $dM/dt \approx 2 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ per $L = 10^{46} \text{ erg sec}^{-1}$.

L'alto tasso di accrescimento del BH quindi può avere effetti molto drastici su tutto il mezzo che circonda il Quasar, provocando collasso gravitazionale, il quale non deve essere inteso come un flusso di materia assorbita costante, ma variabile.

Inoltre è da tener presente anche il momento angolare del disco di accrescimento che svolge un ruolo fondamentale di “*fueling*” del Quasar. Il disco, infatti, dovrà mantenere un equilibrio dinamico di rotazione, nonostante la perdita di momento angolare dovuta all'accrescimento del BH. Il bilanciamento di quest'ultima, infine, si ripercuoterà nell'eruzione dei *jet*, nei quali osserveremo una variazione temporale di emissione nel

continuo (e delle *BLR*) ad ogni frequenza, con piccole variazioni di fase tra le bande Ottico/UV, Radio e X (Fig. 4) dovute alla distanza nel *jet* dal nucleo (Eq 3.1).

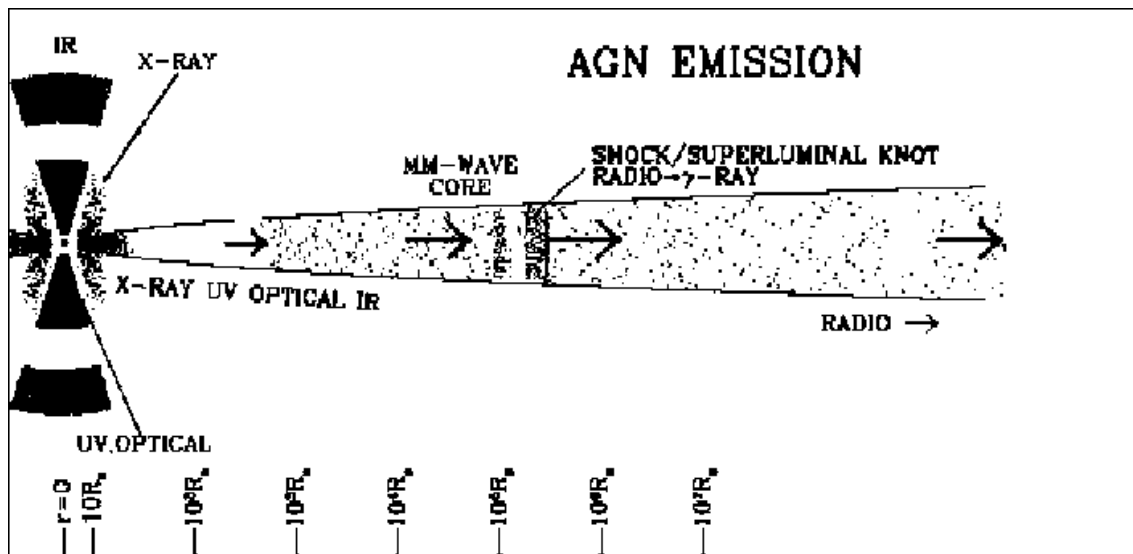


Fig. 6. Processi di emissione nelle diverse regioni di un jet (Marscher, 2005).

Variazione del tasso di accrescimento nel nucleo e perdita di momento angolare del disco di accrescimento sono dunque i fattori principali che danno luogo al fenomeno di Variabilità a lungo periodo, o semplicemente *Variabilità*.

3.4 Variabilità a breve periodo

Per quanto riguarda la variabilità a breve periodo (o *Microvariabilità*), ossia l'osservazione di *outburst*, la situazione è più complessa, poiché i processi che le danno origine sono poco chiari, anche se molte ipotesi sono in gioco. Descriviamo le due principali:

- Prendiamo in considerazione il tasso di accrescimento dM/dt definito in precedenza. Per un Quasar esso ha valori medi di $\approx 1-2 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, ma, come già detto, la materia viene accresciuta in maniera non costante. Può esserci quindi una variazione di accrescimento molto rapida e con un intervallo temporale

abbastanza breve dovuto per esempio al collasso improvviso di una stella dell'ordine di qualche massa solare nel nucleo. Di conseguenza l'eccesso di materia può provocare quello che abbiamo definito finora *outburst*.

- La *Microvariabilità*, inoltre, è messa in risalto in particolar modo nei Blazar. Ciò è dovuto al fatto che in essi i modelli generali per i processi di emissione nel continuo dei Quasar non sono più validi e quindi non si possono innescare nei *jet* i meccanismi che portano ad avere variabilità a lungo periodo. L'alta variabilità (di pochi giorni o ore) ha però sempre origine nei *jet* stessi, dove però si sviluppano delle onde d'urto che si propagano in un plasma non omogeneo, variando così la propria emissione in maniera improvvisa.

Una volta definita la distinzione tra *Variabilità* e *Microvariabilità*, possiamo procedere all'utilizzo pratico di questi eventi, che non posseggono periodicità o *quasi-periodicità*, ragionando in un totale stato di *Casualità*.

4. Casualità dei Quasar come tecnica di crittografia

4.1 One time pad

Il *One time pad*, o *Cifrario di Vernam* è un metodo crittografico basato sul *Cifrario di Cesare* o sul più elaborato *Cifrario di Vigenère*, con una chiave lunga quanto il testo e non riutilizzabile.

Un esempio banale è quello di assegnare un numero di due cifre ad ogni lettera dell'alfabeto (A=00, B=01, etc.) e un numero di due cifre per la punteggiatura ('spazio bianco'=26, 'punto'=27, etc.), così da avere tanti gruppi di due cifre. In seguito, esso si va a sommare ad un numero casuale formato da tante cifre quante ce ne sono nel testo iniziale, in modulo 26 (o in base a quanti numeri da due cifre sono stati usati).

Il cifrario resta a disposizione sia del ricevente che del mittente, così come la sequenza dei numeri casuali utilizzati.

Esempio con la parola 'Quasar':

<i>Messaggio iniziale:</i>	16 20 00 18 00 17
<i>Numero casuale:</i>	+ 11 21 08 04 12 19
<i>Numero finale:</i>	= 37 41 08 22 12 36

Il *Numero finale* viene inviato dal mittente e il ricevente può ricavare il messaggio iniziale semplicemente sottraendo al *Numero finale* il *Numero casuale*.

Il metodo può diventare sempre più complesso, per esempio usando 4 cifre invece che 2 cifre per lettera, etc.

Il grande problema per questo metodo crittografico è il riuscire ad avere un numero di cifre casuali molto elevato, se il messaggio da inviare è molto lungo.

In tal caso si ricorre ad algoritmi per la generazione di numeri *pseudo-casuali*, i quali però non riescono a risolvere il secondo problema del *One time pad*: le tecniche statistiche.

Esse, infatti, danno la possibilità di risalire ai *pattern di generazione* di questi numeri, che potrebbero provocare profondi dubbi sulla sicurezza del metodo.

4.2 Il Cifrario ‘Quasar’

Ken Umeno, del *National Institute of Information and Communications Technology* di Tokyo, per risolvere il problema di sicurezza dovuto ai *pattern di generazione*, ha elaborato un nuovo metodo per riuscire ad avere un elevato numero di cifre casuali sfruttando le proprietà di *Variabilità* e *Casualità* viste finora dei Quasar.

Una volta scritto il messaggio da inviare, il mittente può concordare con il ricevente quale Quasar scegliere per l’operazione e decidere in quale intervallo temporale, lungo a seconda dell’estensione del messaggio, acquisire i dati. I valori del flusso osservato, per esempio, potranno essere usati come chiave della cifratura, criptando i dati da inviare tramite il metodo *One-time-pad*. Il ricevente, utilizzando il procedimento inverso, infine, avrà il messaggio decriptato.

La *Casualità della Variabilità* diventa quindi la soluzione ideale per questo tipo di problema, specialmente per Quasar con tempi scala di variabilità relativamente molto lunghi sovrapposti a microvariabilità, creando così un nuovo cifrario che non lascia vincoli al caso.

Bibliografia

- 1) B. M. Peterson, *An Introduction to Active Galactic Nuclei*, Cambridge University Press, 1997
- 2) H. R. Miller and P. Wiita, *Variability of Active Galactic Nuclei*, Cambridge University Press, 1991
- 3) R. D. Blandford, H. Netzer and L. Woltjer, *Active Galactic Nuclei*, Springer-Verlag, 1990
- 4) B. W. Carroll and D. A. Ostlie, *An Introduction to Modern Astrophysics*, Pearson, 2007
- 5) S. Singh, *The Code Book*, Doubleday, 1999
- 6) Ken Umeno et al., *Authentication system, authentication apparatus, target apparatus, authentication method, program and information recording medium*, Patent US7237110 B2, 2007